

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-146030

(43)Date of publication of application : 29.05.2001

(51)Int.Cl.

B41J 2/175

G01F 23/22

H01L 41/09

H01L 41/08

H01L 41/187

(21)Application number : 2000-147052

(71)Applicant : SEIKO EPSON CORP

(22)Date of filing : 18.05.2000

(72)Inventor : TSUKADA KENJI  
KANETANI MUNEHIDE  
USUI MINORU

(30)Priority

Priority number : 11139683  
11256522Priority date : 20.05.1999  
10.09.1999

Priority country : JP

JP

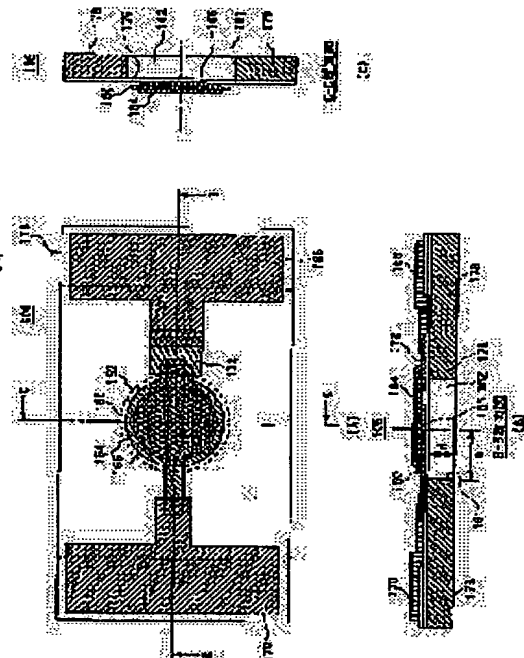
BEST AVAILABLE COPY

(54) PIEZOELECTRIC DEVICE, MODULE BODY, LIQUID CONTAINER AND INK CARTRIDGE

(57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To accurately detect the residual amount of ink without requiring a complicated seal structure caused by the attachment of a detection electrode.

**SOLUTION:** A piezoelectric device is provided to a liquid container to detect the consumption state of the liquid in the liquid container and has a vibration part generating vibration by the deformation of a piezoelectric element. The vibration part has a shape symmetric with respect to the center of the vibration part.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

07.01.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or

application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision  
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

## 書誌

(19)【発行国】日本国特許庁(JP)  
 (12)【公報種別】公開特許公報(A)  
 (11)【公開番号】特開2001-146030(P2001-146030A)  
 (43)【公開日】平成13年5月29日(2001. 5. 29)  
 (54)【発明の名称】圧電装置、モジュール体、液体容器、及びインクカートリッジ  
 (51)【国際特許分類第7版】

B41J 2/175  
 G01F 23/22  
 H01L 41/09  
       41/08  
       41/187

## 【FI】

G01F 23/22           H  
 B41J 3/04       102 Z  
 H01L 41/08       U  
                   Z  
                   C  
       41/18       101 D

【審査請求】未請求

【請求項の数】19

【出願形態】OL

【全頁数】31

(21)【出願番号】特願2000-147052(P2000-147052)

(22)【出願日】平成12年5月18日(2000. 5. 18)

(31)【優先権主張番号】特願平11-139683

(32)【優先日】平成11年5月20日(1999. 5. 20)

(33)【優先権主張国】日本(JP)

(31)【優先権主張番号】特願平11-256522

(32)【優先日】平成11年9月10日(1999. 9. 10)

(33)【優先権主張国】日本(JP)

(71)【出願人】

【識別番号】000002369

【氏名又は名称】セイコーエプソン株式会社

【住所又は居所】東京都新宿区西新宿2丁目4番1号

(72)【発明者】

【氏名】塚田 憲児

【住所又は居所】長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内

(72)【発明者】

【氏名】金谷 宗秀

【住所又は居所】長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内

(72)【発明者】

【氏名】碓井 稔

【住所又は居所】長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内

(74)【代理人】

【識別番号】100093388

【弁理士】

【氏名又は名称】鈴木 喜三郎(外2名)

【テーマコード(参考)】

2C056

2F014

## 【Fターム(参考)】

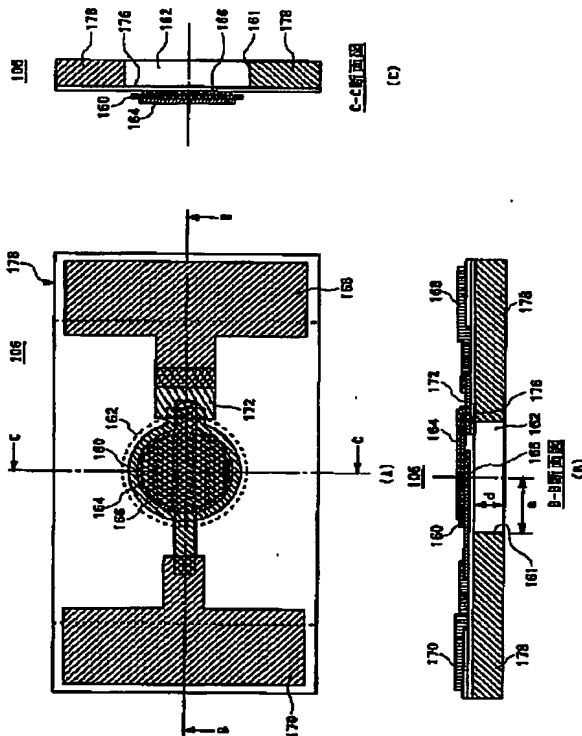
2C056 EA24 EA29 EB20 EB38 EB45 EB51 FA10 KB05 KB08 KC02 KC11 KC13 KC22 KC27 KD06  
 2F014 AA01 AA07 AB01 AB02 AB03 CB01

## 要約

## (57)【要約】

【課題】検出電極取付けに起因する複雑なシール構造を要することなく、インク残量を正確に検出すること。

【解決手段】液体容器に装着され、液体容器内の液体の消費状態を検知する圧電装置であって、圧電体素子の変形によって振動が発生する振動部を有し、振動部はその中心に対して対称な形状を有する圧電装置。



## 請求の範囲

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】液体容器に装着され、該液体容器内の液体の消費状態を検知する圧電装置であって、前記圧電装置は、圧電体素子の変形によって振動が発生する振動部を有し、該振動部がその中心に対して対称な形状を有することを特徴とする圧電装置。

【請求項2】前記圧電装置の前記振動部が、ほぼ円形の形状を有することを特徴とする請求項1に記載の圧電装置。

【請求項3】前記圧電装置が、圧電層、該圧電層の上面に設けられた上部電極、前記圧電層の下面に設けられた下部電極、及び上面が前記下部電極と接し、下面の一部が前記液体容器内の前記液体と接触する振動板を備え、前記振動部は、前記圧電層、前記上部電極、前記下部電極、及び前記振動板のそれぞれの少なくとも一部を含むことを特徴とする請求項1又は2に記載の圧電装置。

【請求項4】前記圧電層、前記上部電極、及び前記下部電極のそれぞれの主部が、前記振動部とほぼ同心円の円形の形状であることを特徴とする請求項3に記載の圧電装置。

【請求項5】前記圧電装置は、上面が前記振動板の前記液体と接触する前記下面側と接し、下面

が前記液体容器内の前記液体と接触する基板を更に備え、前記基板が、前記振動部に面する位置に前記液体と接触する空洞を有することを特徴とする請求項3に記載の圧電装置。

【請求項6】前記空洞が、前記振動部とほぼ同心円の円形状であることを特徴とする請求項5に記載の圧電装置。

【請求項7】前記残留振動による前記振動板の変形が、前記基板の変形よりも大きいことを特徴とする請求項5に記載の圧電装置。

【請求項8】前記振動部の振動の節が、前記空洞の外周部付近に位置することを特徴とする請求項5に記載の圧電装置。

【請求項9】前記圧電装置は、上面が前記振動板の前記液体と接触する前記下面側と接し、下面が前記液体容器の内側を向く取付部材を更に備え、前記取付部材が、前記振動部の中心部に開口を有することを特徴とする請求項3に記載の圧電装置。

【請求項10】前記圧電装置が、前記振動部近傍の音響インピーダンスの変化を検知することにより前記液体容器内の液体の消費状態を検知することを特徴とする請求項1に記載の圧電装置。

【請求項11】前記圧電装置が、前記振動部に残留する残留振動によって発生する逆起電力に基づいて前記音響インピーダンスの変化を検知し、前記液体容器内の液体の消費状態を検知することを特徴とする請求項10に記載の圧電装置。

【請求項12】該振動部が、振動の共振モードにおいて低次の共振モードに単一のピークが出現する振動を発生すること特徴とする請求項1に記載の圧電装置。

【請求項13】請求項1乃至12記載の圧電装置が装着されたことを特徴とする液体容器。

【請求項14】請求項1乃至12記載の圧電装置と、前記圧電装置を前記液体容器に取付けるための、前記圧電装置と一体化された取付構造体とを備えたことを特徴とするモジュール体。

【請求項15】前記取付構造体が、前記液体容器の内部へ張り出す張り出し部を含み、前記張り出し部の中心線上に前記振動部の中心が配置されたことを特徴とする請求項14に記載のモジュール体。

【請求項16】前記張り出し部が、円筒形であることを特徴とする請求項15に記載のモジュール体。

【請求項17】前記圧電装置の前記上部電極及び前記下部電極と電氣的に接続する端子を更に備えたことを特徴とする請求項16に記載のモジュール体。

【請求項18】請求項14乃至17に記載のモジュール体が装着されたことを特徴とする液体容器。

【請求項19】請求項13または18に記載の液体容器にインクジェット記録装置に供給するインクを収容したことを特徴とするインクカートリッジ。

## 詳細な説明

### 【発明の詳細な説明】

#### 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、音響インピーダンスの変化を検出することで、その中でも特に共振周波数の変化を検出することでインク等の液体を収容する液体容器内の液体の消費状態を検知するための圧電装置（アクチュエータ）が備えられた液体容器に関する。さらに詳しくは、圧力発生手段により圧力発生室のインクを印刷データに対応させて加圧し、ノズル開口からインク滴を吐出させて印刷するインクジェット記録装置に適した圧電装置、モジュール体、液体容器、及びインクカートリッジに関するものである。

#### 【0002】

【従来の技術】インクジェット記録装置は、圧力発生室を加圧する圧力発生手段と、加圧されたインクをノズル開口からインク滴として吐出するノズル開口とを備えたインクジェット記録ヘッドをキャリッジに搭載する。インクジェット記録装置は、インクタンクのインクを流路を介して記録ヘッドに供給しながら印刷を継続可能に構成されている。インクタンクは、インクが消費された時点で、ユーザが簡単に交換できるように着脱可能なカートリッジとして構成されている。

【0003】従来、インクカートリッジのインク消費の管理方法として、記録ヘッドでのインク滴の吐出数やメンテナンスにより吸引されたインク量をソフトウェアにより積算してインク消費を計算により管理する方法と、インクカートリッジに液面検出用の電極を取付けることにより、実際にインクが所定量消費された時点を管理する方法などがある。

【0004】しかしながら、ソフトウェアによりインク滴の吐出数やインク量を積算してインク消費を計

算上管理する方法は、ユーザサイドでの印刷形態等により誤差が生じたり、また同一カートリッジの再装着時には大きな誤差が生じるという問題がある。また、使用環境により、例えば室温が極端な高低、あるいはインクカートリッジの開封後の経過時間などによってインクカートリッジ内の圧力やインクの粘度が変化して、計算上のインク消費量と実際の消費量との間に無視できない誤差が生じてしまうという問題もあった。一方、電極によりインクが消費された時点を管理する方法は、インクの実量を検出できるため、インク残量を高い信頼性で管理できる。しかしながら、インクの液面の検出をインクの導電性に頼るので、検出可能なインクの種類が限定されたり、また電極のシール構造が複雑化する問題がある。また、電極の材料として通常は導電性が良く耐腐食性も高い貴金属を使用するので、インクカートリッジの製造コストがかさむという問題もあった。さらに、2本の電極を装着する必要があるため、製造工程が多くなり結果として製造コストがかさんでしまうという問題もあった。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】そこで本発明は、上記の課題を解決することのできる、インク残量を正確に検出でき、かつ複雑なシール構造を不要とした、液体容器に装着される圧電装置及びモジュール体を提供することを目的とする。この目的は特許請求の範囲における独立項に記載の特徴の組み合わせにより達成される。また従属項は本発明の更なる有利な具体例を規定する。

【0006】

【課題を解決するための手段】即ち、本発明の第1の形態における圧電装置は、液体容器に装着され、液体容器内の液体の消費状態を検知する圧電装置であって、前記圧電装置は、圧電体素子の変形によって振動が発生する振動部を有し、振動部は、その中心に対して対称な形状を有することが好ましい。

【0007】また、圧電装置の振動部は、ほぼ円形の形状を有することが好ましい。更に、圧電装置が、圧電層、圧電層の上面に設けられた上部電極、圧電層の下面に設けられた下部電極、及び上面が下部電極と接し、下面の一部が液体容器内の液体と接触する振動板を備え、振動部は、圧電層、上部電極、下部電極、及び振動板のそれぞれの少なくとも一部を含むことが好ましい。更に、圧電層、上部電極、及び下部電極のそれぞれの主部が、振動部とほぼ同心円の円形の形状であることが好ましい。

【0008】また、圧電装置は、上面が振動板の液体と接触する下面側と接し、下面が液体容器内の液体と接触する基板を更に備え、基板が、振動部に面する位置に液体と接触する空洞を有することが好ましい。空洞は、振動部とほぼ同心円の円形状であることが好ましい。また、残留振動による振動板の変形が、基板の変形よりも大きいことが好ましい。振動部の振動の節が、空洞の外周部付近に位置してもよい。圧電装置は、上面が振動板の液体と接触する下面側と接し、下面が液体容器の内側を向く取付部材を更に備え、取付部材が、振動部の中心部に開口を有することが好ましい。更に、上記の圧電装置が装着された液体容器であることが好ましい。

【0009】本発明の第2の形態におけるモジュール体は、上記の圧電装置と、圧電装置を液体容器に取付けるための、圧電装置と一体化された取付構造体とを備えることが好ましい。

【0010】取付構造体が、液体容器の内部へ張り出す張り出し部を含み、張り出し部の中心線上に振動部の中心が配置されてもよい。更に、張り出し部が、円筒形であってもよい。圧電装置の上部電極及び下部電極に駆動信号を与える端子を更に備えてもよい。また、上記のモジュール体が装着された液体容器であることが好ましい。また、上記の液体容器にインクジェット記録装置に供給するインクを収容するインクカートリッジであってもよい。

【0011】なお上記の発明の概要は、本発明の必要な特徴の全てを列挙したものではなく、これらの特徴群のサブコンビネーションも又発明となりうる。

【0012】

【発明の実施の形態】以下、発明の実施の形態を通じて本発明を詳細に説明する。以下の実施形態はクレームにかかる発明を限定するものではなく、又実施形態の中で説明されている特徴の組み合わせの全てが発明の解決手段に必須であるとは限らない。

【0013】本発明の基本的概念は、振動現象を利用することで、液体容器内の液体の状態(液体容器内の液体の有無、液体の量、液体の水位、液体の種類、液体の組成を含む)を検出することである。具体的な振動現象を利用した液体容器内の液体の状態の検出としてはいくつかの方法が考えられる。例えば弾性波発生手段が液体容器の内部に対して弾性波を発生し、液面あるいは対向する壁によって反射する反射波を受波することで、液体容器内の媒体およびその状態の変化を検出する方法がある。また、これとは別に、振動する物体の振動特性から音響インピーダンスの変化を検知する方法もある。音響インピーダンスの変化を利用する方法としては、圧電素

子を有する圧電装置またはアクチュエータの振動部を振動させ、その後に振動部に残留する残留振動によって生ずる逆起電力を測定することによって、共振周波数または逆起電力波形の振幅を検出することで音響インピーダンスの変化を検知する方法や、測定機、例えば伝送回路等のインピーダンスアナライザによって液体のインピーダンス特性またはアドミタンス特性を測定し、電流値や電圧値の変化または、振動を液体に与えたときの電流値や電圧値の周波数による変化を測定する方法がある。以下、圧電装置またはアクチュエータの動作原理の詳細について説明する。

【0014】図1および図2は、圧電装置の一実施形態であるアクチュエータ106の詳細および等価回路を示す。ここでいうアクチュエータは、少なくとも音響インピーダンスの変化を検知して液体容器内の液体の消費状態を検出する方法に用いられる。特に、残留振動により共振周波数の検出することで、少なくとも音響インピーダンスの変化を検知して液体容器内の液体の消費状態を検出する方法に用いられる。図1(A)は、アクチュエータ106の拡大平面図である。図1(B)は、アクチュエータ106のB-B断面を示す。図1(C)は、アクチュエータ106のC-C断面を示す。さらに図2(A)および図2(B)は、アクチュエータ106の等価回路を示す。また、図2(C)および図2(D)は、それぞれインクカートリッジ内にインクが満たされているときのアクチュエータ106を含む周辺およびその等価回路を示し、図2(E)および図2(F)は、それぞれインクカートリッジ内にインクが無いときのアクチュエータ106を含む周辺およびその等価回路を示す。

【0015】アクチュエータ106は、ほぼ中央に円形状の開口161を有する基板178と、開口161を被覆するように基板178の一方の面(以下、表面という)に配備される振動板176と、振動板176の表面の側に配置される圧電層160と、圧電層160を両方からはさみこむ上部電極164および下部電極166と、上部電極164と電気的に結合する上部電極端子168と、下部電極166と電気的に結合する下部電極端子170と、上部電極164および上部電極端子168の間に配設され、かつ両者を電気的に結合する補助電極172と、を有する。圧電層160、上部電極164および下部電極166はそれぞれの主要部として円形部分を有する。圧電層160、上部電極164および下部電極166のそれぞれの円形部分は圧電素子を形成する。

【0016】振動板176は、基板178の表面に、開口161を覆うように形成される。キャビティ162は、振動板176の開口161と面する部分と基板178の表面の開口161とによって形成される。基板178の圧電素子とは反対側の面(以下、裏面という)は液体容器側に面しており、キャビティ162は液体と接触するように構成されている。キャビティ162内に液体が入っても基板178の表面側に液体が漏れないように、振動板176は基板178に対して液密に取り付けられる。

【0017】下部電極166は振動板176の表面、即ち液体容器とは反対側の面に位置しており、下部電極166の主要部である円形部分の中心と開口161の中心とがほぼ一致するように取り付けられている。なお、下部電極166の円形部分の面積が開口161の面積よりも小さくなるように設定されている。一方、下部電極166の表面側には、圧電層160が、その円形部分の中心と開口161の中心とがほぼ一致するように形成されている。圧電層160の円形部分の面積は、開口161の面積よりも小さく、かつ下部電極166の円形部分の面積よりも大きくなるように設定されている。

【0018】一方、圧電層160の表面側には、上部電極164が、その主要部である円形部分の中心と開口161の中心とがほぼ一致するように形成される。上部電極164の円形部分の面積は、開口161および圧電層160の円形部分の面積よりも小さく、かつ下部電極166の円形部分の面積よりも大きくなるよう設定されている。

【0019】したがって、圧電層160の主要部は、上部電極164の主要部と下部電極166の主要部とによって、それぞれ表面側と裏面側とから挟みこまれる構造となっていて、圧電層160を効果的に変形駆動することができる。圧電層160、上部電極164および下部電極166のそれぞれの主要部である円形部分がアクチュエータ106における圧電素子を形成する。上述のように圧電素子は振動板176に接している。また、上部電極164の円形部分、圧電層160の円形部分、下部電極166の円形部分および開口161のうちで、面積が最も大きいのは開口161である。この構造によって、振動板176のうち実際に振動する振動領域は、開口161によって決定される。また、上部電極164の円形部分、圧電層160の円形部分および下部電極166の円形部分は開口161より面積が小さいので、振動板176がより振動しやすくなる。さらに、圧電層160と電気的に接続する下部電極166の円形部分および上部電極164の円形部分のうち、下部電極166の円形部分の方が小さい。従って、下部端子166の円形部分が圧電層160のうち圧電効果を生ずる部分を決定する。

【0020】したがって、圧電層160の主要部は、上部電極164の主要部と下部電極166の主要部とによって、それぞれ表面側と裏面側とから挟みこまれる構造となっていて、圧電層160を効果的に

140030 6/39 ページ

に変形駆動することができる。圧電層160、上部電極164および下部電極166のそれぞれの主要部である円形部分がアクチュエータ106における圧電素子を形成する。上述のように圧電素子は振動板176に接している。また、上部電極164の円形部分、圧電層160の円形部分、下部電極166の円形部分および開口161のうちで、面積が最も大きいのは開口161である。この構造によって、振動板176のうち実際に振動する振動領域は、開口161によって決定される。また、上部電極164の円形部分、圧電層160の円形部分および下部電極166の円形部分は開口161より面積が小さいので、振動板176がより振動しやすくなる。さらに、圧電層160と電氣的に接続する下部電極166の円形部分および上部電極164の円形部分のうち、下部電極166の円形部分の方が小さい。従って、下部端子166の円形部分が圧電層160のうち圧電効果を生ずる部分を決定する。

【0021】圧電素子を形成する圧電層160、上部電極164、及び下部電極166の円形部分は、その中心が、開口部161の中心とほぼ一致する。また、振動板176の振動部分を決定する円形状の開口部161の中心は、アクチュエータ106のほぼ中心に設けられている。したがって、アクチュエータ106の振動部の中心は、アクチュエータの中心とほぼ一致する。更に、圧電素子の主部及び、振動板176の振動部分が、円形な形状を有するので、アクチュエータ106の振動部は、アクチュエータ106の中心に対して対称な形状である。

【0022】振動部が、アクチュエータ106の中心に対して対称な形状であるので、構造の非対称性から生じる不要な振動を励起しないようにすることができる。そのため、共振周波数の検出精度が向上する。更に、振動部が、アクチュエータ中心に対して対称な形状であるので、製造しやすく、圧電素子ごとの形状のばらつきを小さくできる。したがって、圧電素子ごとの共振周波数のばらつきが小さくなる。また、振動部が、等方的な形状であるので、接着の際、固定のばらつきの影響を受けにくい。液体容器に均等に接着される。したがって、アクチュエータ106の液体容器への実装性がよい。

【0023】更に、振動板176の振動部分が、円形な形状を有するので、圧電層160の残留振動の共振モードにおいて、低次、例えば一次の共振モードが支配的となり、単一のピークが出現する。そのため、ピークとノイズとを、明確に区別することができるので、共振周波数を明確に検出することができる。また、円形な形状の振動板176の振動部分の面積を大きくすることによって、逆起電力波形の振幅及び液体の有無による共振周波数の振幅の差が大きくなり、共振周波数の検出の精度を更に向上できる。

【0024】振動板176の振動による変位は、基板178の振動による変位よりもはるかに大きい。アクチュエータ106は、コンプライアンスの小さい、すなわち振動によって変位しにくい基板178と、コンプライアンスの大きい、すなわち振動によって変位しやすい振動板176との2層構造を有する。この2層構造によって、基板178によって液体容器に確実に固定されながら、かつ振動による振動板176の変位を大きくできるので、逆起電力波形の振幅及び液体の有無による共振周波数の振幅の差が大きくなり、共振周波数の検出の精度が向上できる。更に、振動板176のコンプライアンスが大きいので、振動の減衰が小さくなり、共振周波数の検出の精度が向上できる。また、アクチュエータ106の振動の節は、キャビティ162の外周部、すなわち開口部161の縁付近に位置する。

【0025】上部電極端子168は、補助電極172を介して上部電極164と電氣的に接続するように振動板176の表面側に形成される。一方、下部電極端子170は、下部電極166に電氣的に接続するように振動板176の表面側に形成される。上部電極164は、圧電層160の表面側に形成されるため、上部電極端子168と接続する途中において、圧電層160の厚さと下部電極166の厚さとの和に等しい段差を有する必要がある。上部電極164だけでこの段差を形成することは難しく、かりに可能であったとしても上部電極164と上部電極端子168との接続状態が弱くなってしまう、切断してしまう危険がある。そこで、補助電極172を補助部材として用いて上部電極164と上部電極端子168とを接続させている。このようにすることで、圧電層160も上部電極164も補助電極172に支持された構造となり、所望の機械的強度を得ることができ、また上部電極164と上部電極端子168との接続を確実にすることが可能となる。

【0026】なお、圧電素子と振動板176のうちの圧電素子に直面する振動領域とが、アクチュエータ106において実際に振動する振動部である。また、アクチュエータ106に含まれる部材は、互いに焼成されることによって一体的に形成されることが好ましい。アクチュエータ106を一体的に形成することによって、アクチュエータ106の取り扱いが容易になる。さらに、基板178の強度を高めることによって振動特性が向上する。即ち、基板178の強度を高めることによって、アクチュエータ106の振動部のみが振動し、アクチュエータ106のうち振動部以外の部分が振動しない。



また、アクチュエータ106の振動部以外の部分が振動しないためには、基板178の強度を高めるのに対し、アクチュエータ106の圧電素子を薄くかつ小さくし、振動板176を薄くすることによって達成できる。

【0027】圧電層160の材料としては、ジルコン酸チタン酸鉛(PZT)、ジルコン酸チタン酸鉛ランタン(PLZT)または鉛を使用しない鉛レス圧電膜を用いることが好ましく、基板178の材料としてジルコニアまたはアルミナを用いることが好ましい。また、振動板176には、基板178と同じ材料を用いることが好ましい。上部電極164、下部電極166、上部電極端子168および下部電極端子170は、導電性を有する材料、例えば、金、銀、銅、プラチナ、アルミニウム、ニッケルなどの金属を用いることができる。

【0028】上述したように構成されるアクチュエータ106は、液体を収容する容器に適用することができる。例えば、インクジェット記録装置に用いられるインクカートリッジやインクタンク、あるいは記録ヘッドを洗浄するための洗浄液を収容した容器などに装着することができる。

【0029】図1および図2に示されるアクチュエータ106は、液体容器の所定の場所に、キャビティ162を液体容器内に収容される液体と接触するように装着される。液体容器に液体が十分に収容されている場合には、キャビティ162内およびその外側は液体によって満たされている。一方、液体容器の液体が消費され、アクチュエータの装着位置以下まで液面が降下すると、キャビティ162内には液体は存在しないか、あるいはキャビティ162内にのみ液体が残存されその外側には気体が存在する状態となる。アクチュエータ106は、この状態の変化に起因する、少なくとも音響インピーダンスの相違を検出する。それによって、アクチュエータ106は、液体容器に液体が十分に収容されている状態であるか、あるいはある一定以上の液体が消費された状態であるかを検知することができる。さらに、アクチュエータ106は、液体容器内の液体の種類も検出することが可能である。

【0030】ここでアクチュエータによる液面検出の原理について説明する。

【0031】媒体の音響インピーダンスの変化を検出するには、媒体のインピーダンス特性またはアドミタンス特性を測定する。インピーダンス特性またはアドミタンス特性を測定する場合には、例えば伝送回路を利用することができる。伝送回路は、媒体に一定電圧を印加し、周波数を変えて媒体に流れる電流を測定する。または、伝送回路は、媒体に一定電流を供給し、周波数を変えて媒体に印加される電圧を測定する。伝送回路で測定された電流値または電圧値の変化は音響インピーダンスの変化を示す。また、電流値または電圧値が極大または極小となる周波数 $f_m$ の変化も音響インピーダンスの変化を示す。

【0032】上記の方法とは別に、アクチュエータは、液体の音響インピーダンスの変化を共振周波数のみの変化を用いて検出することができる。液体の音響インピーダンスの変化を利用する方法として、アクチュエータの振動部が振動した後に振動部に残留する残留振動によって生ずる逆起電力を測定することによって共振周波数を検出する方法を用いる場合には、例えば圧電素子を利用することができる。圧電素子は、アクチュエータの振動部に残留する残留振動により逆起電力を発生する素子であり、アクチュエータの振動部の振幅によって逆起電力の大きさが変化する。従って、アクチュエータの振動部の振幅が大きいほど検出がしやすい。また、アクチュエータの振動部における残留振動の周波数によって逆起電力の大きさが変化する周期が変わる。従って、アクチュエータの振動部の周波数は逆起電力の周波数に対応する。ここで、共振周波数は、アクチュエータの振動部と振動部に接する媒体との共振状態における周波数をいう。

【0033】共振周波数 $f_s$ を得るために、振動部と媒体とが共振状態であるときの逆起電力測定によって得られた波形をフーリエ変換する。アクチュエータの振動は、一方向だけの変形ではなく、たわみや伸長等様々な変形をとまなうので、共振周波数 $f_s$ を含め様々な周波数を有する。よって、圧電素子と媒体とが共振状態であるときの逆起電力の波形をフーリエ変換し、最も支配的な周波数成分を特定することで、共振周波数 $f_s$ を判断する。

【0034】周波数 $f_m$ は、媒体のアドミタンスが極大またはインピーダンスが極小であるときの周波数である。共振周波数 $f_s$ とすると、周波数 $f_m$ は、媒体の誘電損失または機械的損失などによって、共振周波数 $f_s$ に対しわずかな誤差を生ずる。しかし、実測される周波数 $f_m$ から共振周波数 $f_s$ を導出することは手間がかかるため、一般には、周波数 $f_m$ を共振周波数に代えて使用する。ここで、アクチュエータ106の出力を伝送回路に入力することで、アクチュエータ106は少なくとも音響インピーダンスを検出することができる。

【0035】媒体のインピーダンス特性またはアドミタンス特性を測定し周波数 $f_m$ を測定する方法と、アクチュエータの振動部における残留振動振動によって生ずる逆起電力を測定することによって共振周波数 $f_s$ を測定する方法と、によって特定される共振周波数に差がほとんど無いことが実

験によって証明されている。

【0036】アクチュエータ106の振動領域は、振動板176のうち開口161によって決定されるキャビティ162を構成する部分である。液体容器内に液体が十分に收容されている場合には、キャビティ162内には、液体が満たされ、振動領域は液体容器内の液体と接触する。一方で、液体容器内に液体が充分にない場合には、振動領域は液体容器内のキャビティに残った液体と接するか、あるいは液体と接触せず、気体または真空と接触する。

【0037】本発明のアクチュエータ106にはキャビティ162が設けられ、それによって、アクチュエータ106の振動領域に液体容器内の液体が残るように設計できる。その理由は次の通りである。

【0038】アクチュエータの液体容器への取り付け位置や取り付け角度によっては、液体容器内の液体の液面がアクチュエータの装着位置よりも下方にあるにもかかわらず、アクチュエータの振動領域に液体が付着してしまう場合がある。振動領域における液体の有無だけでアクチュエータが液体の有無を検出している場合には、アクチュエータの振動領域に付着した液体が液体の有無の正確な検出を妨げる。たとえば、液面がアクチュエータの装着位置よりも下方にある状態のとき、キャリッジの往復移動などにより液体容器が揺動して液体が波うち、振動領域に液滴が付着してしまうと、アクチュエータは液体容器内に液体が充分にあるとの誤った判断をしてしまう。そこで、逆にそこに液体を残存した場合であっても液体の有無を正確に検出するように設計されたキャビティを積極的に設けることで、液体容器が揺動して液面が波立ったとしても、アクチュエータの誤動作を防止することができる。このように、キャビティを有するアクチュエータを用いることで、誤動作を防ぐことができる。

【0039】また、図2(E)に示すように、液体容器内に液体が無く、アクチュエータ106のキャビティ162に液体容器内の液体が残っている場合を、液体の有無の閾値とする。すなわち、キャビティ162の周辺に液体が無く、この閾値よりキャビティ内の液体が少ない場合は、インク無しと判断し、キャビティ162の周辺に液体があり、この閾値より液体が多い場合は、インク有りと判断する。例えば、アクチュエータ106を液体容器の側壁に装着した場合、液体容器内の液体がアクチュエータの装着位置よりも下にある場合をインク無しと判断し、液体容器内の液体がアクチュエータの装着位置より上にある場合をインク有りと判断する。このように閾値を設定することによって、キャビティ内のインクが乾燥してインクが無くなったときであってもインク無しと判断し、キャビティ内のインクが無くなったところにキャリッジの揺れなどで再度インクがキャビティに付着しても閾値を越えないので、インク無しと判断することができる。

【0040】ここで、図1および図2を参照しながら逆起電力の測定による媒体とアクチュエータ106の振動部との共振周波数から液体容器内の液体の状態を検出する動作および原理について説明する。アクチュエータ106において、上部電極端子168および下部電極端子170を介して、それぞれ上部電極164および下部電極166に電圧を印加する。圧電層160のうち、上部電極164および下部電極166に挟まれた部分には電界が生じる。その電界によって、圧電層160は変形する。圧電層160が変形することによって振動板176のうちの振動領域がたわみ振動する。圧電層160が変形した後しばらくは、たわみ振動がアクチュエータ106の振動部に残留する。

【0041】残留振動は、アクチュエータ106の振動部と媒体との自由振動である。従って、圧電層160に印加する電圧をパルス波形あるいは矩形波とすることで、電圧を印加した後に振動部と媒体との共振状態を容易に得ることができる。残留振動は、アクチュエータ106の振動部を振動させるため、圧電層160をも変形する。従って、圧電層160は逆起電力を発生する。その逆起電力は、上部電極164、下部電極166、上部電極端子168および下部電極端子170を介して検出される。検出された逆起電力によって、共振周波数が特定できるため、液体容器内の液体の状態を検出することができる。

【0042】一般に、共振周波数 $f_s$ は、 $f_s = 1 / (2 * \pi * (M * C_{act})^{1/2})$  (式1)

で表される。ここで、 $M$ は振動部のイナータンス $M_{act}$ と付加イナータンス $M'$ との和である。 $C_{act}$ は振動部のコンプライアンスである。

【0043】図1(C)は、本実施例において、キャビティにインクが残存していないときのアクチュエータ106の断面図である。図2(A)および図2(B)は、キャビティにインクが残存していないときのアクチュエータ106の振動部およびキャビティ162の等価回路である。

【0044】 $M_{act}$ は、振動部の厚さと振動部の密度との積を振動部の面積で除したものであり、さらに詳細には、図2(A)に示すように、 $M_{act} = M_{pzt} + M_{electrode1} + M_{electrode2} + M_{vib}$  (式2)と表される。ここで、 $M_{pzt}$ は、振動部における圧電層160の厚さと圧電層160の密度との積を圧電層160の面積で除したものである。 $M_{electrode1}$ は、振動部における上部電極164の厚さと上部電極164の密度との積を上部電極164の面積で除したものである。 $M_{electrode2}$ は、振動部に

おける下部電極166の厚さと下部電極166の密度との積を下部電極166の面積で除したものである。Mvibは、振動部における振動板176の厚さと振動板176の密度との積を振動板176の振動領域の面積で除したものである。ただし、Mactを振動部全体としての厚さ、密度および面積から算出することができるように、本実施例では、圧電層160、上部電極164、下部電極166および振動板176の振動領域のそれぞれの面積は、上述のような大小関係を有するものの、相互の面積の差は微小であることが好ましい。また、本実施例において、圧電層160、上部電極164および下部電極166においては、それらの主要部である円形部分以外の部分は、主要部に対して無視できるほど微小であることが好ましい。従って、アクチュエータ106において、Mactは、上部電極164、下部電極166、圧電層160および振動板176のうちの振動領域のそれぞれのイナータンスの和である。また、コンプライアンスCactは、上部電極164、下部電極166、圧電層160および振動板176のうちの振動領域によって形成される部分のコンプライアンスである。

【0045】尚、図2(A)、図2(B)、図2(D)、図2(F)は、アクチュエータ106の振動部およびキャビティ162の等価回路を示すが、これらの等価回路において、Cactはアクチュエータ106の振動部のコンプライアンスを示す。Cpzt、Celectrode1、Celectrode2およびCvibはそれぞれ振動部における圧電層160、上部電極164、下部電極166および振動板176のコンプライアンスを示す。Cactは、以下の式3で表される。

【0046】

$$1/Cact = (1/Cpzt) + (1/Celectrode1) + (1/Celectrode2) + (1/Cvib) \quad (式3)$$

式2および式3より、図2(A)は、図2(B)のように表すこともできる。

【0047】コンプライアンスCactは、振動部の単位面積に圧力をかけたときの変形によって媒体を受容できる体積を表す。また、コンプライアンスCactは、変形のし易さを表すといってもよい。

【0048】図2(C)は、液体容器に液体が十分に収容され、アクチュエータ106の振動領域の周辺に液体が満たされている場合のアクチュエータ106の断面図を示す。図2(C)のM' maxは、液体容器に液体が十分に収容され、アクチュエータ106の振動領域の周辺に液体が満たされている場合の付加イナータンスの最大値を表す。M' maxは、【0049】

$$M' max = (\pi * \rho / (2 * k^3)) * (2 * (2 * k * a)^3 / (3 * \pi)) / (\pi * a^2)^2 \quad (式4)$$

(aは振動部の半径、ρは媒体の密度、kは波数である。)

【0050】で表される。尚、式4は、アクチュエータ106の振動領域が半径aの円形である場合に成立する。付加イナータンスM'は、振動部の付近にある媒体の作用によって、振動部の質量が見かけ上増加していることを示す量である。式4からわかるように、M' maxは振動部の半径aと、媒体の密度ρとによって大きく変化する。

【0051】波数kは、 $k = 2 * \pi * fact / c$  (式5)

(factは液体が触れていないときの振動部の共振周波数である。cは媒体中を伝播する音響の速度である。)

【0052】で表される。

【0053】図2(D)は、液体容器に液体が十分に収容され、アクチュエータ106の振動領域の周辺に液体が満たされている図2(C)の場合のアクチュエータ106の振動部およびキャビティ162の等価回路を示す。

【0054】図2(E)は、液体容器の液体が消費され、アクチュエータ106の振動領域の周辺に液体が無いものの、アクチュエータ106のキャビティ162内には液体が残存している場合のアクチュエータ106の断面図を示す。式4は、例えば、液体容器に液体が満たされている場合に、インクの密度ρなどから決定される最大のイナータンスM' maxを表す式である。一方、液体容器内の液体が消費され、キャビティ162内に液体が残留しつつアクチュエータ106の振動領域の周辺にある液体が気体または真空になった場合には、【0055】 $M' = \rho * t / S$  (式6)

と表せる。tは、振動にかかわる媒体の厚さである。Sは、アクチュエータ106の振動領域の面積である。この振動領域が半径aの円形の場合は、 $S = \pi * a^2$ である。従って、付加イナータンスM'は、液体容器に液体が十分に収容され、アクチュエータ106の振動領域の周辺に液体が満たされている場合には、式4に従う。一方で、液体が消費され、キャビティ162内に液体が残留しつつアクチュエータ106の振動領域の周辺にある液体が気体または真空になった場合には、式6に従う。

【0056】ここで、図2(E)のように、液体容器の液体が消費され、アクチュエータ106の振動領域の周辺に液体が無いものの、アクチュエータ106のキャビティ162内には液体が残存している場合の付加イナータンスM'を便宜的にM' cavとし、アクチュエータ106の振動領域の周辺に液体

が満たされている場合の付加イナータンス $M'_{\max}$ と区別する。

【0057】図2(F)は、液体容器の液体が消費され、アクチュエータ106の振動領域の周辺に液体が無いものの、アクチュエータ106のキャビティ162内には液体が残存している図2(E)の場合のアクチュエータ106の振動部およびキャビティ162の等価回路を示す。

【0058】ここで、媒体の状態に関するパラメータは、式6において、媒体の密度 $\rho$ および媒体の厚さ $t$ である。液体容器内に液体が十分に收容されている場合は、アクチュエータ106の振動部に液体が接触し、液体容器内に液体が十分に收容されていない場合は、キャビティ内部に液体が残存するか、もしくはアクチュエータ106の振動部に気体または真空が接触する。アクチュエータ106の周辺の液体が消費され、図2(C)の $M'_{\max}$ から図2(E)の $M'_{\text{cav}}$ へ移行する過程における付加イナータンスを $M'_{\text{var}}$ とすると、液体容器内の液体の收容状態によって、媒体の密度 $\rho$ や媒体の厚さ $t$ が変化するため、付加イナータンス $M'_{\text{var}}$ が変化し、共振周波数 $f_s$ も変化することになる。従って、共振周波数 $f_s$ を特定することによって、液体容器内の液体の有無を検出することができる。式6を用いて $M'_{\text{cav}}$ を表すと、式6の $t$ にキャビティの深さ $d$ を代入し、【0059】

$$M'_{\text{cav}} = \rho \cdot d / S \quad (\text{式7})$$

となる。

【0060】また、媒体が互いに種類の異なる液体であっても、組成の違いによって密度 $\rho$ が異なるため、付加イナータンス $M'$ が変化し、共振周波数 $f_s$ も変化する。従って、共振周波数 $f_s$ を特定することで、液体の種類を検出できる。尚、アクチュエータ106の振動部にインクまたは空気のいずれか一方のみが接触し、混在していない場合には、式4によって計算しても、 $M'$ の相違を検出できる。

【0061】図3(A)は、インクタンク内のインクの量とインクおよび振動部の共振周波数 $f_s$ との関係を示すグラフである。ここでは液体の1例としてインクについて説明する。縦軸は、共振周波数 $f_s$ を示し、横軸は、インク量を示す。インク組成が一定であるとき、インク残量の低下に伴い、共振周波数 $f_s$ は、上昇する。

【0062】インク容器にインクが十分に收容され、アクチュエータ106の振動領域の周辺にインクが満たされている場合には、その最大付加イナータンス $M'_{\max}$ は式4に表わされる値となる。一方で、インクが消費され、キャビティ162内に液体が残留しつつアクチュエータ106の振動領域の周辺にインクが満たされていないときには、付加イナータンス $M'_{\text{var}}$ は、媒体の厚さ $t$ に基づいて式6によって算出される。式6中の $t$ は振動にかかわる媒体の厚さであるから、アクチュエータ106のキャビティ162の $d$ (図1(B)参照)を小さく、即ち、基板178を十分に薄くすることによって、インクが徐々に消費されていく過程を検出することもできる(図2(C)参照)。ここで、 $t_{\text{ink}}$ は振動にかかわるインクの厚さとし、 $t_{\text{ink}} - \max$ は $M'_{\max}$ における $t_{\text{ink}}$ とする。例えば、インクカートリッジの底面にアクチュエータ106をインクの液面に対してほぼ水平に配備する。インクが消費され、インクの液面がアクチュエータ106から $t$ の高さ以下に達すると、式6により $M'_{\text{var}}$ が徐々に変化し、式1により共振周波数 $f_s$ が徐々に変化する。従って、インクの液面が $t$ の範囲内にある限り、アクチュエータ106はインクの消費状態を徐々に検出することができる。

【0063】また、アクチュエータ106の振動領域を大きくまたは長くし、かつ縦に配置することによってインクの消費による液面の位置にしたがって、式6中の $S$ が変化する。従って、アクチュエータ106はインクが徐々に消費されていく過程を検出することもできる。例えば、インクカートリッジの側壁にアクチュエータ106をインクの液面に対してほぼ垂直に配備する。インクが消費され、インクの液面がアクチュエータ106の振動領域に達すると、水位の低下に伴い付加イナータンス $M'$ が減少するので、式1により共振周波数 $f_s$ が徐々に増加する。従って、インクの液面が、キャビティ162の径 $2a$ (図2(C)参照)の範囲内にある限り、アクチュエータ106はインクの消費状態を徐々に検出することができる。

【0064】図3(A)の曲線Xは、アクチュエータ106のキャビティ162を十分に浅くした場合や、アクチュエータ106の振動領域を十分に大きくまたは長くした場合のインクタンク内に收容されたインクの量とインクおよび振動部の共振周波数 $f_s$ との関係を表わしている。インクタンク内のインクの量が減少するとともに、インクおよび振動部の共振周波数 $f_s$ が徐々に変化していく様子が理解できる。

【0065】より詳細には、インクが徐々に消費されていく過程を検出することができる場合とは、アクチュエータ106の振動領域の周辺において、互いに密度が異なる液体と気体とがともに存在し、かつ振動にかかわる場合である。インクが徐々に消費されていくに従って、アクチュエータ106の振動領域周辺において振動にかかわる媒体は、液体が減少する一方で気体が増加する。例えば、アクチュエータ106をインクの液面に対して水平に配備した場合であって、 $t_{\text{ink}}$ が $t_{\text{ink}} - \max$

より小さいときには、アクチュエータ106の振動にかかわる媒体はインクと気体との両方を含む。したがって、アクチュエータ106の振動領域の面積 $S$ とすると、式4の $M'_{\max}$ 以下になった状態をインクと気体の付加質量で表すと、【0066】

$$M' = M'_{\text{air}} + M'_{\text{ink}} = \rho_{\text{air}} t_{\text{air}} / S + \rho_{\text{ink}} t_{\text{ink}} / S \quad (\text{式8})$$

となる。ここで、 $M'_{\text{air}}$ は空気のイナータンスであり、 $M'_{\text{ink}}$ はインクのイナータンスである。 $\rho_{\text{air}}$ は空気の密度であり、 $\rho_{\text{ink}}$ はインクの密度である。 $t_{\text{air}}$ は振動にかかわる空気の厚さであり、 $t_{\text{ink}}$ は振動にかかわるインクの厚さである。アクチュエータ106の振動領域周辺における振動にかかわる媒体のうち、液体が減少して気体が増加するに従い、アクチュエータ106がインクの液面に対しほぼ水平に配備されている場合には、 $t_{\text{air}}$ が増加し、 $t_{\text{ink}}$ が減少する。それによって、 $M'_{\text{var}}$ が徐々に減少し、共振周波数が徐々に増加する。よって、インクタンク内に残存しているインクの量またはインクの消費量を検出することができる。尚、式7において液体の密度のみの式となっているのは、液体の密度に対して、空気の密度が無視できるほど小さい場合を想定しているからである。

【0067】アクチュエータ106がインクの液面に対しほぼ垂直に配備されている場合には、アクチュエータ106の振動領域のうち、アクチュエータ106の振動にかかわる媒体がインクのみ領域と、アクチュエータ106の振動にかかわる媒体が気体の領域との並列の等価回路(図示せず)と考えられる。アクチュエータ106の振動にかかわる媒体がインクのみ領域の面積を $S_{\text{ink}}$ とし、アクチュエータ106の振動にかかわる媒体が気体のみの領域の面積を $S_{\text{air}}$ とすると、【0068】

$$1/M' = 1/M'_{\text{air}} + 1/M'_{\text{ink}} = S_{\text{air}} / (\rho_{\text{air}} t_{\text{air}}) + S_{\text{ink}} / (\rho_{\text{ink}} t_{\text{ink}}) \quad (\text{式9})$$

となる。

【0069】尚、式9は、アクチュエータ106のキャビティにインクが保持されない場合に適用される。アクチュエータ106のキャビティにインクが保持される場合については、式7、式8および式9によって計算することができる。

【0070】一方、基板178が厚く、即ち、キャビティ162の深さ $d$ が深く、 $d$ が媒体の厚さ $t_{\text{ink-max}}$ に比較的近い場合や、液体容器の高さに比して振動領域が非常に小さいアクチュエータを用いる場合には、実際上はインクが徐々に減少する過程を検出するというよりはインクの液面がアクチュエータの装着位置より上位置か下位置かを検出することになる。換言すると、アクチュエータの振動領域におけるインクの有無を検出することになる。例えば、図3(A)の曲線Yは、小さい円形の振動領域の場合におけるインクタンク内のインクの量とインクおよび振動部の共振周波数 $f_s$ との関係を示す。インクタンク内のインクの液面がアクチュエータの装着位置を通過する前後におけるインク量 $Q$ の間で、インクおよび振動部の共振周波数 $f_s$ が激しく変化している様子が示される。このことから、インクタンク内にインクが所定量残存しているか否かを検出することができる。

【0071】アクチュエータ106を用いて液体の有無を検出する方法は、振動板176が、液体と直接接触することで、インクの有無を検出するので、インクの消費量をソフトウェアによって計算する方法に比べ、検出精度が高い。更に、電極を用いて、導電性によりインクの有無を検出する方法は、液体容器への取付位置及びインクの種類によって影響されるが、アクチュエータ106を用いて液体の有無を検出する方法は、液体容器への取付位置及びインクの種類によって、影響されない。更に、単一のアクチュエータ106を用いて、発振と液体の有無の検出の双方をすることができるので、発振と液体の有無の検出とを異なったセンサを用いて実施する方法と比較して液体容器に取付けるセンサの数を減少することができる。したがって、液体容器を安価に製造できる。更に、圧電層160の振動周波数を非可聴領域に設定することで、アクチュエータ106の動作中に発生する音を静かにすることができる。

【0072】図3(B)は、図3(A)の曲線Yにおけるインクの密度とインクおよび振動部の共振周波数 $f_s$ との関係を示す。液体の例としてインクを挙げている。図3(B)に示すように、インク密度が高くなると、付加イナータンスが大きくなるので共振周波数 $f_s$ が低下する。すなわち、インクの種類によって共振周波数 $f_s$ が異なる。したがって共振周波数 $f_s$ を測定することによって、インクを再充填する際に、密度の異なったインクが混入されていないか確認することができる。

【0073】つまり、互いに種類の異なるインクを収容するインクタンクを識別できる。

【0074】続いて、液体容器内の液体が空の状態であってもアクチュエータ106のキャビティ162内に液体が残存するようにキャビティのサイズと形状を設定した時の、液体の状態を正確に検出できる条件を詳述する。アクチュエータ106は、キャビティ162内に液体が満たされている場合に液体の状態を検出できれば、キャビティ162内に液体が満たされていない場合であっても液体の状態を検出できる。

【0075】共振周波数 $f_s$ は、イナータンス $M$ の関数である。イナータンス $M$ は、振動部のイナータン

ス $M_{act}$ と付加イナータンス $M'$ との和である。ここで、付加イナータンス $M'$ が液体の状態と関係する。付加イナータンス $M'$ は、振動部の付近にある媒体の作用によって振動部の質量が見かけ上増加していることを示す量である。即ち、振動部の振動によって見かけ上媒体を吸収することによる振動部の質量の増加分をいう。

【0076】従って、 $M'_{cav}$ が式4における $M'_{max}$ よりも大きい場合には、見かけ上吸収する媒体は全てキャビティ162内に残存する液体である。よって、液体容器内に液体が満たされている状態と同じである。この場合には $M'$ が変化しないので、共振周波数 $f_s$ も変化しない。従って、アクチュエータ106は、液体容器内の液体の状態を検出できないことになる。

【0077】一方、 $M'_{cav}$ が式4における $M'_{max}$ よりも小さい場合には、見かけ上吸収する媒体はキャビティ162内に残存する液体および液体容器内の気体または真空である。このときには液体容器内に液体が満たされている状態とは異なり $M'$ が変化するので、共振周波数 $f_s$ が変化する。従って、アクチュエータ106は、液体容器内の液体の状態を検出できる。

【0078】即ち、液体容器内の液体が空の状態、アクチュエータ106のキャビティ162内に液体が残存する場合に、アクチュエータ106が液体の状態を正確に検出できる条件は、 $M'_{cav}$ が $M'_{max}$ よりも小さいことである。尚、アクチュエータ106が液体の状態を正確に検出できる条件 $M'_{max} > M'_{cav}$ は、キャビティ162の形状にかかわらず。

【0079】ここで、 $M'_{cav}$ は、キャビティ162の容量とほぼ等しい容量の液体の質量である。従って、 $M'_{max} > M'_{cav}$ の不等式から、アクチュエータ106が液体の状態を正確に検出できる条件は、キャビティ162の容量の条件として表すことができる。例えば、円形状のキャビティ162の開口161の半径を $a$ とし、およびキャビティ162の深さを $d$ とすると、【0080】 $M'_{max} > \rho * d / \pi a^2$  (式10)

である。式10を展開すると【0081】 $a/d > 3 * \pi / 8$  (式11)

という条件が求められる。尚、式10、式11は、キャビティ162の形状が円形の場合に限り成立する。円形でない場合の $M'_{max}$ の式を用い、式10中の $\pi a^2$ をその面積と置き換えて計算すれば、キャビティの幅および長さ等のディメンジョンと深さの関係が導き出せる。

【0082】従って、式11を満たす開口161の半径 $a$ およびキャビティ162の深さ $d$ であるキャビティ162を有するアクチュエータ106であれば、液体容器内の液体が空の状態であっても、かつキャビティ162内に液体が残存する場合であっても、誤作動することなく液体の状態を検出できる。

【0083】付加イナータンス $M'$ は音響インピーダンス特性にも影響するので、残留振動によりアクチュエータ106に発生する逆起電力を測定する方法は、少なくとも音響インピーダンスの変化を検出しているともいえる。

【0084】また、本実施例によれば、アクチュエータ106が振動を発生してその後の残留振動によりアクチュエータ106に発生する逆起電力を測定している。しかし、アクチュエータ106の振動部が駆動電圧による自らの振動によって液体に振動を与えることは必ずしも必要ではない。即ち、振動部が自ら発振しなくても、それと接触しているある範囲の液体と共に振動することで、圧電層160がたわみ変形する。この残留振動が圧電層160に逆起電力電圧を発生させ、上部電極164および下部電極166にその逆起電力電圧を伝達する。この現象を利用することで媒体の状態を検出してもよい。例えば、インクジェット記録装置において、印字時における印字ヘッドの走査によるキャリッジの往復運動による振動によって発生するアクチュエータの振動部の周囲の振動を利用してインクタンクまたはその内部のインクの状態を検出してもよい。

【0085】図4(A)および図4(B)は、アクチュエータ106を振動させた後の、アクチュエータ106の残留振動の波形と残留振動の測定方法とを示す。インクカートリッジ内のアクチュエータ106の装着位置レベルにおけるインク水位の上下は、アクチュエータ106が発振した後の残留振動の周波数変化や、振幅の変化によって検出することができる。図4(A)および図4(B)において、縦軸はアクチュエータ106の残留振動によって発生した逆起電力の電圧を示し、横軸は時間を示す。アクチュエータ106の残留振動によって、図4(A)および図4(B)に示すように電圧のアナログ信号の波形が発生する。次に、アナログ信号を、信号の周波数に対応するデジタル数値に変換する。

【0086】図4(A)および図4(B)に示した例においては、アナログ信号の4パルス目から8パルス目までの4個のパルスが生じる時間を計測することによって、インクの有無を検出する。

【0087】より詳細には、アクチュエータ106が発振した後、予め設定された所定の基準電圧を低電圧側から高電圧側へ横切る回数をカウントする。デジタル信号を4カウントから8カウントまでの間をHighとし、所定のクロックパルスによって4カウントから8カウントまでの時間を計測する。

【0088】図4(A)はアクチュエータ106の装着位置レベルよりも上位にインク液面があるときの波



形である。一方、図4(B)はアクチュエータ106の装着位置レベルにおいてインクが無いときの波形である。図4(A)と図4(B)とを比較すると、図4(A)の方が図4(B)よりも4カウントから8カウントまでの時間が長いことがわかる。換言すると、インクの有無によって4カウントから8カウントまでの時間が異なる。この時間の相違を利用して、インクの消費状態を検出することができる。アナログ波形の4カウント目から数えるのは、アクチュエータ106の振動が安定してから計測をはじめめるためである。4カウント目からとしたのは単なる一例であって、任意のカウントから数えてもよい。ここでは、4カウント目から8カウント目までの信号を検出し、所定のクロックパルスによって4カウント目から8カウント目までの時間を測定する。それによって、共振周波数を求める。クロックパルスは、インクカートリッジに取り付けられる半導体記憶装置等を制御するためのクロックと等しいクロックのパルスであることが好ましい。尚、8カウント目までの時間を測定する必要は無く、任意のカウントまで数えてもよい。図4においては、4カウント目から8カウント目までの時間を測定しているが周波数を検出する回路構成にしたがって、異なったカウント間隔内の時間を検出してもよい。【0089】例えば、インクの品質が安定していてピークの振幅の変動が小さい場合には、検出の速度を上げるために4カウント目から6カウント目までの時間を検出することにより共振周波数を求めてもよい。また、インクの品質が不安定でパルスの振幅の変動が大きい場合には、残留振動を正確に検出するために4カウント目から12カウント目までの時間を検出してもよい。

【0090】また、他の実施例として所定期間内における逆起電力の電圧波形の波数を数えてもよい(図示せず)。この方法によっても共振周波数を求めることができる。より詳細には、アクチュエータ106が発振した後、所定期間だけデジタル信号をHighとし、所定の基準電圧を低電圧側から高電圧側へ横切る回数をカウントする。そのカウント数を計測することによってインクの有無を検出できるのである。

【0091】さらに、図4(A)および図4(B)を比較して分かるように、インクがインクカートリッジ内に満たされている場合とインクがインクカートリッジ内に無い場合とでは、逆起電力波形の振幅が異なる。従って、共振周波数を求めることなく、逆起電力波形の振幅を測定することによっても、インクカートリッジ内のインクの消費状態を検出してもよい。より詳細には、例えば、図4(A)の逆起電力波形の頂点と図4(B)の逆起電力波形の頂点との間に基準電圧を設定する。アクチュエータ106が発振した後、所定時間にデジタル信号をHighとし、逆起電力波形が基準電圧を横切った場合には、インクが無いと判断する。逆起電力波形が基準電圧を横切らない場合には、インクが有ると判断する。

【0092】図5は、アクチュエータ106の製造方法を示す。複数のアクチュエータ106(図5の例では4個)が一体に形成されている。図5に示した複数のアクチュエータの一体成形物を、それぞれのアクチュエータ106において切断することにより、図6に示すアクチュエータ106を製造する。図5に示す一体成形された複数のアクチュエータ106のそれぞれの圧電素子が円形である場合、一体成形物をそれぞれのアクチュエータ106において切断することにより、図1に示すアクチュエータ106を製造することができる。複数のアクチュエータ106を一体に形成することにより、複数のアクチュエータ106を同時に効率良く製造することができ、運搬時の取り扱いが容易となる。

【0093】アクチュエータ106は、薄板又は振動板176、基板178、弾性波発生手段又は圧電素子174、端子形成部材又は上部電極端子168、及び端子形成部材又は下部電極端子170を有する。圧電素子174は、圧電振動板又は圧電層160、上電極又は上部電極164、及び下電極又は下部電極166を含む。基板178の上面に振動板176が、形成され、振動板176の上面に下部電極166が形成されている。下部電極166の上面には、圧電層160が形成され、圧電層160の上面に、上部電極164が、形成されている。したがって、圧電層160の主要部は、上部電極164の主要部及び下部電極166の主要部によって、上下から挟まれるように形成されている。【0094】振動板176上に複数(図5の例では4個)の圧電素子174が形成されている。振動板176の表面に下部電極166が形成され、下部電極166の表面に圧電層160が形成され、圧電層160の上面に上部電極164が形成される。上部電極164及び下部電極166の端部に上部電極端子168及び下部電極端子170が形成される。4個のアクチュエータ106は、それぞれ別々に切断されて個別に使用される。

【0095】図6は、圧電素子が矩形のアクチュエータ106の一部分の断面を示す。

【0096】図7は、図6に示したアクチュエータ106の全体の断面を示す。基板178の圧電素子174と対向する面には、貫通孔178aが形成されている。貫通孔178aは振動板176によって封止されている。振動板176はアルミナや酸化ジルコニア等の電気絶縁性を備え、かつ弾性変形可能な材料によって形成されている。貫通孔178aと対向するように、圧電素子174が振動板176上に形成されている。下部電極166は貫通孔178aの領域から一方向、図7では左方に延びるよ

うに振動板176の表面に形成されている。上部電極164は貫通孔178aの領域から下部電極とは反対の方向に、図7では右方に延びるように圧電層160の表面に形成されている。上部電極端子168及び下部電極端子170は、それぞれ補助電極172及び下部電極166の上面に形成されている。下部電極端子170は下部電極166と電氣的に接触し、上部電極端子168は補助電極172を介して上部電極164と電氣的に接触して、圧電素子とアクチュエータ106の外部との間の信号の受け渡しをする。上部電極端子168及び下部電極端子170は、電極と圧電層とを合わせた圧電素子の高さ以上の高さを有する。

【0097】図8は、図5に示したアクチュエータ106の製造方法を示す。まず、グリーンシート940にプレスあるいはレーザー加工等を用いて貫通孔940aを穿孔する。グリーンシート940は焼成後に基板178となる。グリーンシート940はセラミック等の材料で形成される。次に、グリーンシート940の表面にグリーンシート941を積層する。グリーンシート941は、焼成後に振動板176となる。グリーンシート941は、酸化ジルコニア等の材料で形成される。次に、グリーンシート941の表面に導電層942、圧電層160、導電層944を圧膜印刷等の方法で順次形成する。導電層942は、後に下部電極166となり、導電層944は、後に上部電極164となる。次に、形成されたグリーンシート940、グリーンシート941、導電層942、圧電層160、及び導電層944を乾燥して焼成する。スペーサ部材947、948は、上部電極端子168と下部電極端子170の高さを底上げして圧電素子より高くする。スペーサ部材947、948は、グリーンシート940、941と同材料を印刷、あるいはグリーンシートを積層して形成する。このスペーサ部材947、948により貴金属である上部電極端子168及び下部電極端子170の材料が少なく済む上に、上部電極端子168及び下部電極端子170の厚みを薄くできるので、上部電極端子168及び下部電極端子170を精度良く印刷でき、さらに安定した高さとすることができる。

【0098】導電層942の形成時に導電層944との接続部944'及びスペーサ部材947及び948を同時に形成すると、上部電極端子168及び下部電極端子170を容易に形成したり、強固に固定することができる。最後に、導電層942及び導電層944の端部領域に、上部電極端子168及び下部電極端子170を形成する。上部電極端子168及び下部電極端子170を形成する際、上部電極端子168及び下部電極端子170が、圧電層160に電氣的に接続されるように形成する。

【0099】図9は、本発明が適用されるインクカートリッジのさらに他の実施形態を示す。図9(A)は、本実施形態によるインクカートリッジの底部の断面図である。本実施形態のインクカートリッジは、インクを収容する容器1の底面1aに貫通孔1cを有する。貫通孔1cの底部はアクチュエータ650によって塞がれ、インク溜部を形成する。

【0100】図9(B)は、図9(A)に示したアクチュエータ650及び貫通孔1cの詳細な断面を示す。

図9(C)は、図9(B)に示したアクチュエータ650及び貫通孔1cの平面を示す。アクチュエータ650は振動板72および振動板72に固定された圧電素子73とを有する。振動板72及び基板71を介して圧電素子73が貫通孔1cに対向するように、アクチュエータ650は、容器1の底面に固定される。振動板72は、弾性変形可能で耐インク性を備える。

【0101】容器1のインク量に依存して、圧電素子73及び振動板72の残留振動によって発生する逆起電力の振幅及び周波数が変化する。アクチュエータ650に対向する位置に貫通孔1cが形成されていて、最小限の一定量のインクが貫通孔1cに確保される。したがって、貫通孔1cに確保されるインク量により決まるアクチュエータ650の振動の特性を予め測定しておくことにより、容器1のインクエンドを確実に検出することができる。

【0102】図10は貫通孔1cの他の実施形態を示す。図10(A)、(B)、及び(C)のそれぞれにおいて、左側の図は、貫通孔1cにインクKが無い状態を示し、右側の図は、貫通孔1cにインクKが残った状態を示す。図9の実施形態においては、貫通孔1cの側面は垂直な壁として形成されている。図10(A)においては、貫通孔1cは、側面1dが上下方向に斜めであり外側に拡大して開いている。図10(B)においては、段差部1e及び1fが、貫通孔1cの側面に形成されている。上方にある段差部1fが、下方にある段差部1eより広くなっている。図10(C)においては、貫通孔1cは、インクKを排出しやすい方向、すなわちインク供給口2の方向へ延びる溝1gを有する。

【0103】図10(A)～(C)に示した貫通孔1cの形状によれば、インク溜部のインクKの量を少なくできる。従って、図1および図2で説明したM' cavをM' maxと比較して小さくすることができるので、インクエンド時におけるアクチュエータ650の振動特性を、容器1に印刷可能な量のインクKが残存している場合と大きく異ならせることができるので、インクエンドをより確実に検出することができる。

【0104】図11はアクチュエータの他の実施形態を示す斜視図である。アクチュエータ660は、アクチュエータ660を構成する基板または取付プレート78の貫通孔1cよりも外側にパッキン76を



有する。アクチュエータ660の外周にはカシメ孔77が形成されている。アクチュエータ660は、カシメ孔77を介してカシメにより容器1に固定される。

【0105】図12(A)、(B)は、アクチュエータの更に他の実施形態を示す斜視図である。本実施形態においては、アクチュエータ670は、凹部形成基板80および圧電素子82を備える。凹部形成基板80の一方の面には凹部81がエッチング等の手法により形成され、他方の面には圧電素子82が取り付けられる。凹部形成基板80のうち、凹部81の底部が振動領域として作用する。従って、アクチュエータ670の振動領域は凹部81の周縁によって規定される。また、アクチュエータ670は、図1の実施例によるアクチュエータ106のうち、基板178および振動板176が一体として形成された構造と類似する。従って、インカートリッジを製造する際に製造工程を短縮することができ、コストを低減させる。アクチュエータ670は、容器1に設けられた貫通孔1cに埋め込み可能なサイズである。それによって、凹部81がキャビティとしても作用することができる。尚、図1の実施例によるアクチュエータ106を、図12の実施例によるアクチュエータ670と同様に貫通孔1cに埋め込み可能なように形成してもよい。

【0106】図13は、アクチュエータ106を取り付けモジュール体100として一体形成した構成を示す斜視図である。モジュール体100はインカートリッジの容器1の所定個所に装着される。モジュール体100は、インク液中の少なくとも音響インピーダンスの変化を検出することにより、容器1内の液体の消費状態を検知するように構成されている。本実施形態のモジュール体100は、容器1にアクチュエータ106を取り付けるための液体容器取付部101を有する。液体容器取付部101は、平面がほぼ矩形の基台102上に駆動信号により発振するアクチュエータ106を収容した円柱部116を載せた構造になっている。モジュール体100が、インカートリッジに装着されたときに、モジュール体100のアクチュエータ106が外部から接触できないように構成されているので、アクチュエータ106を外部の接触から保護することができる。なお、円柱部116の先端側エッジは丸みが付けられていて、インカートリッジに形成された孔へ装着する際に嵌めやすくなっている。

【0107】図14は、図13に示したモジュール体100の構成を示す分解図である。モジュール体100は、樹脂からなる液体容器取付部101と、プレート110および凹部113を有する圧電装置装着部105とを含む。さらに、モジュール体100は、リードワイヤ104a及び104b、アクチュエータ106、およびフィルム108を有する。好ましくは、プレート110は、ステンレス又はステンレス合金等の錆びにくい材料から形成される。液体容器取付部101に含まれる円柱部116および基台102は、リードワイヤ104a及び104bを収容できるよう中心部に開口部114が形成され、アクチュエータ106、フィルム108、及びプレート110を収容できるように凹部113が形成される。アクチュエータ106はプレート110にフィルム108を介して接合され、プレート110およびアクチュエータ106は液体容器取付部101に固定される。従って、リードワイヤ104a及び104b、アクチュエータ106、フィルム108およびプレート110は、液体容器取付部101に一体として取り付けられる。リードワイヤ104a及び104bは、それぞれアクチュエータ106の上部電極及び下部電極と結合して圧電層に駆動信号を伝達し、一方、アクチュエータ106が検出した共振周波数の信号を記録装置等へ伝達する。アクチュエータ106は、リードワイヤ104a及び104bから伝達された駆動信号に基づいて一時的に発振する。アクチュエータ106は発振後に残留振動し、その振動によって逆起電力を発生させる。このとき、逆起電力波形の振動周期を検出することによって、液体容器内の液体の消費状態に対応した共振周波数を検出することができる。フィルム108は、アクチュエータ106とプレート110とを接着してアクチュエータを液密にする。フィルム108は、ポリオレフィン等によって形成し、熱融着で接着することが好ましい。フィルム108は、アクチュエータ106とプレート110とを接着してアクチュエータを液密にする。フィルム108は、ポリオレフィンによって形成し、熱融着で接着することが好ましい。アクチュエータ106とプレート110とをフィルム108によって面状に接着して固定することにより、接着の場所によるばらつきが無くなり、振動部以外の部分が振動しない。したがって、アクチュエータ106をプレート110に接着する前と後における共振周波数の変化が小さい。

【0108】プレート110は円形状であり、基台102の開口部114は円筒状に形成されている。アクチュエータ106及びフィルム108は矩形状に形成されている。リードワイヤ104、アクチュエータ106、フィルム108、及びプレート110は、基台102に対して着脱可能としてもよい。基台102、リードワイヤ104、アクチュエータ106、フィルム108、及びプレート110は、モジュール体100の中心軸に対して対称に配置されている。更に、基台102、アクチュエータ106、フィルム108、及びプレート110の中心は、モジュール体100のほぼ中心軸上に配置されている。

【0109】基台102の開口部114の面積は、アクチュエータ106の振動領域の面積よりも大きく形

成されている。プレート110の中心でアクチュエータ106の振動部に直面する位置には、貫通孔112が形成されている。図1および図2に示したようにアクチュエータ106にはキャビティ162が形成され、貫通孔112とキャビティ162は、共にインク溜部を形成する。プレート110の厚さは、残留インクの影響を少なくするために貫通孔112の径に比べて小さいことが好ましい。例えば貫通孔112の深さはその径の3分の1以下の大きさであることが好ましい。貫通孔112は、モジュール体100の中心軸に対して対称なほぼ真円の形状である。また貫通孔112の面積は、アクチュエータ106のキャビティ162の開口面積よりも大きい。貫通孔112の断面の周縁はテーパー形状であっても良いしステップ形状でもよい。モジュール体100は、貫通孔112が容器1の内側へ向くように容器1の側部、上部、又は底部に装着される。インクが消費されアクチュエータ106周辺のインクがなくなると、アクチュエータ106の共振周波数が大きく変化するので、インクの水位変化を検出することができる。

【0110】図15は、モジュール体の他の実施形態を示す斜視図である。本実施形態のモジュール体400は、液体容器取付部401に圧電装置装着部405が形成されている。液体容器取付部401は、平面がほぼ角丸の正方形上の基台402上に円柱状の円柱部403が形成されている。更に、圧電装置装着部405は、円柱部403上に立てられた板状要素406および凹部413を含む。板状要素406の側面に設けられた凹部413には、アクチュエータ106が配置される。なお、板状要素406の先端は所定角度に面取りされていて、インクカートリッジに形成された孔へ装着する際に嵌めやすくなっている。

【0111】図16は、図15に示したモジュール体400の構成を示す分解斜視図である。図13に示したモジュール体100と同様に、モジュール体400は、液体容器取付部401および圧電装置装着部405を含む。液体容器取付部401は基台402および円柱部403を有し、圧電装置装着部405は板状要素406および凹部413を有する。アクチュエータ106は、プレート410に接合されて凹部413に固定される。モジュール体400は、リードワイヤ404a及び404b、アクチュエータ106、及びフィルム408をさらに有する。

【0112】本実施形態によれば、プレート410は矩形状であり、板状要素406に設けられた開口部414は矩形状に形成されている。リードワイヤ404a及び404b、アクチュエータ106、フィルム408、及びプレート410は基台402に対して着脱可能として構成しても良い。アクチュエータ106、フィルム408、及びプレート410は、開口部414の中心を通り、開口部414の平面に対して鉛直方向に延びる中心軸に対して対称に配置されている。更に、アクチュエータ106、フィルム408、及びプレート410の中心は、開口部414のほぼ中心軸上に配置されている。

【0113】プレート410の中心に設けられた貫通孔412の面積は、アクチュエータ106のキャビティ162の開口の面積よりも大きく形成されている。アクチュエータ106のキャビティ162と貫通孔412とは、共にインク溜部を形成する。プレート410の厚さは貫通孔412の径に比べて小さく、例えば貫通孔412の径の3分の1以下の大きさに設定することが好ましい。貫通孔412は、モジュール体400の中心軸に対して対称なほぼ真円の形状である。貫通孔412の断面の周縁はテーパー形状であっても良いしステップ形状でもよい。モジュール体400は、貫通孔412が容器1の内部に配置されるように容器1の底部に装着することができる。アクチュエータ106が垂直方向に延びるように容器1内に配置されるので、基台402の高さを変えてアクチュエータ106が容器1内に配置される高さを変えることによりインクエンドの時点の設定を容易に変えることができる。

【0114】図17は、モジュール体の更に他の実施形態を示す。図13に示したモジュール体100と同様に、図17のモジュール体500は、基台502および円柱部503を有する液体容器取付部501を含む。また、モジュール体500は、リードワイヤ504a及び504b、アクチュエータ106、フィルム508、及びプレート510をさらに有する。液体容器取付部501に含まれる基台502は、リードワイヤ504a及び504bを収容できるよう中心部に開口部514が形成され、アクチュエータ106、フィルム508、及びプレート510を収容できるように凹部513が形成される。アクチュエータ106はプレート510を介して圧電装置装着部505に固定される。従って、リードワイヤ504a及び504b、アクチュエータ106、フィルム508およびプレート510は、液体容器取付部501に一体として取り付けられる。本実施形態のモジュール体500は、平面がほぼ角丸の正方形上の基台上に上面が上下方向に斜めな円柱部503が形成されている。円柱部503の上面の上下方向に斜めに設けられた凹部513上にアクチュエータ106が配置されている。

【0115】モジュール体500の先端は傾斜しており、その傾斜面にアクチュエータ106が装着されている。そのため、モジュール体500が容器1の底部又は側部に装着されると、アクチュエータ106が容器1の上下方向に対して傾斜する。モジュール体500の先端の傾斜角度は、検出性能を鑑みてほぼ30° から60° の間とすることが望ましい。

【0116】モジュール体500は、アクチュエータ106が容器1内に配置されるように容器1の底部又は側部に装着される。モジュール体500が容器1の側部に装着される場合には、アクチュエータ106が、傾斜しつつ、容器1の上側、下側、又は横側を向くように容器1に取り付けられる。一方、モジュール体500が、容器1の底部に装着される場合には、アクチュエータ106が、傾斜しつつ、容器1のインク供給口側を向くように容器1に取り付けられることが好ましい。

【0117】図18は、図13に示したモジュール体100を容器1に装着したときのインク容器の底部近傍の断面図である。モジュール体100は、容器1の側壁を貫通するように装着されている。容器1の側壁とモジュール体100との接合面には、リング365が設けられ、モジュール体100と容器1との液密を保っている。リングでシールが出来るようにモジュール体100は図13で説明したような円柱部を備えることが好ましい。モジュール体100の先端が容器1の内部に挿入されることで、プレート110の貫通孔112を介して容器1内のインクがアクチュエータ106と接触する。アクチュエータ106の振動部の周囲が液体か気体かによってアクチュエータ106の残留振動の共振周波数が異なるので、モジュール体100を用いてインクの消費状態を検出することができる。また、モジュール体100に限らず、図15に示したモジュール体400、図17に示したモジュール体500、又は図19及び図20に示したモジュール体700A、700B、750A、及び750B、及びモールド構造体600を容器1に装着してインクの有無を検出してもよい。

【0118】図19は、モジュール体100の更に他の実施形態を示す。図19(A)のモジュール体750Aはアクチュエータ106と基台部360とを有する。モジュール体750Aは前面が容器1の側壁の内面と同一面となるように、容器1に装着されている。アクチュエータ106は、圧電層160、上部電極164、下部電極166、及び振動板176を含む。振動板176の上面に下部電極166が形成されている。下部電極166の上面には圧電層160が形成され、圧電層160の上面に上部電極164が形成されている。したがって、圧電層160は、上部電極164及び下部電極166によって上下から挟まれるように形成されている。圧電層160、上部電極164、及び下部電極166は、圧電素子を形成する。圧電素子は振動板176上に形成される。圧電素子及び振動板176の振動領域はアクチュエータが実際に振動する振動部である。容器1の側壁には貫通孔385が設けられている。したがって、インクは容器1の貫通孔385を介して振動板176と接触する。

【0119】次に図19(A)に示したモジュール体750Aの動作について説明する。上部電極164及び下部電極166は圧電層160に駆動信号を伝達し、圧電層160が検出した共振周波数の信号を記録装置に伝達する。圧電層160は上部電極164及び下部電極166によって伝達された駆動信号により発振して残留振動する。この残留振動により圧電層160は逆起電力を発生する。逆起電力波形の振動周期をカウントし、その時点での共振周波数を検出することでインクの有無を検出できる。モジュール体750Aは、アクチュエータ106がアクチュエータ106の振動部の圧電素子側とは反対の面、すなわち、図19(A)では、振動板176のみが、インク容器1内のインクと接触するように容器1に装着される。図19(A)のモジュール体750Aは、図13から図17に示したリードワイヤ104a、104b、404a、404b、504a、及び504bの電極のモジュール体100への埋め込みが不要となる。そのため成形工程が簡素化される。更に、モジュール体750Aの交換が可能となりリサイクルが可能となる。また更に、アクチュエータ106は基台部360により保護されているのでアクチュエータ106を外部との接触から保護できる。

【0120】図19(B)はモジュール体750Bの更に他の実施形態を示す。図19(B)のモジュール体750Bはアクチュエータ106と基台部360とを有する。モジュール体750Bは前面が容器1の側壁の内面と同一面となるように、容器1に装着されている。アクチュエータ106は、圧電層160、上部電極164、下部電極166、及び振動板176を含む。振動板176の上面に下部電極166が形成されている。下部電極166の上面には圧電層160が形成され、圧電層160の上面に上部電極164が形成されている。したがって、圧電層160は、上部電極164及び下部電極166によって上下から挟まれるように形成されている。圧電層160、上部電極164、及び下部電極166は、圧電素子を形成する。圧電素子は振動板176上に形成される。圧電素子及び振動板176の振動領域はアクチュエータが実際に振動する振動部である。容器1の側壁には薄壁部380が設けられている。モジュール体750Bは、アクチュエータ106がアクチュエータ106の振動部の圧電素子側とは反対の面、すなわち、図19(B)では、振動板176のみが、インク容器1の薄壁部380と接触するように容器1に装着される。したがって、アクチュエータ106の振動部は、薄壁部380と共に残留振動する。

【0121】次に図19(B)に示したモジュール体750Bの動作について説明する。上部電極164及び下部電極166は圧電層160に駆動信号を伝達し、圧電層160が検出した共振周波数の信号を記録装置に伝達する。圧電層160は上部電極164及び下部電極166によって伝達された駆

動信号により発振して共振周期で振動する。振動板176が、容器1の薄壁部380と接触するので、アクチュエータ106の振動部は、薄壁部380と共に残留振動する。薄壁部380の容器1の内面側は、インクと接触するので、アクチュエータ106が、薄壁部380と共に残留振動する際、この残留振動の共振周波数及び振幅は、インク残量により変化する。この残留振動により圧電層160は逆起電力を発生する。逆起電力波形の振動周期をカウントし、その時の共振周波数を検出することによりインク残量を検出することができる。

【0122】図19(B)のモジュール体750Bは、図13から図17に示したリードワイヤ104a、104b、404a、404b、504a、及び504bの電極のモジュール体100への埋め込みが不要となる。そのため成形工程が簡素化される。更に、モジュール体750Bの交換が可能となりリサイクルが可能となる。また更に、アクチュエータ106は基台部360により保護されているのでアクチュエータ106を外部との接触から保護できる。

【0123】図20(A)はモジュール体700Bを容器1に装着したときのインク容器の断面図を示す。本実施例では取付構造体の1つとしてモジュール体700Bを使用する。モジュール体700Bは、液体容器取付部360が容器1の内部に突出するようにして容器1に装着されている。取付プレート350には貫通孔370が形成され、貫通孔370とアクチュエータ106の振動部が面している。更に、モジュール体700Bの底壁には孔382が形成され、圧電装置装着部363が形成される。アクチュエータ106が孔382の一方を塞ぐようにして配備される。したがって、インクは、圧電装置装着部363の孔382及び取付プレート350の貫通孔370を介して振動板176と接触する。圧電装置装着部363の孔382及び取付プレート350の貫通孔370は、共にインク溜部を形成する。圧電装置装着部363とアクチュエータ106とは、取付プレート350及びフィルム部材によって固定されている。液体容器取付部360と容器1との接続部にはシーリング構造372が設けられている。シーリング構造372は合成樹脂等の可塑性の材料により形成されてもよいし、Oリングにより形成されてもよい。図20(A)のモジュール体700Bと容器1とは別体であるが、図20(B)のようにモジュール体700Bの圧電装置装着部を容器1の一部で構成してもよい。

【0124】図20(A)のモジュール体700Bは、図13から図17に示したリードワイヤのモジュール体への埋め込みが不要となる。そのため成形工程が簡素化される。更に、モジュール体700Bの交換が可能となりリサイクルが可能となる。

【0125】インクカートリッジが揺れる際にインクが容器1の上面あるいは側面に付着し、容器1の上面あるいは側面から垂れてきたインクがアクチュエータ106に接触することでアクチュエータ106が誤作動する可能性がある。しかし、モジュール体700Bは液体容器取付部360が容器1の内部に突出しているため、容器1の上面や側面から垂れてきたインクによりアクチュエータ106が誤作動しない。

【0126】また、図20(A)の実施例では、振動板176と取付プレート350の一部のみが、容器1内のインクと接触するように容器1に装着される。図20(A)の実施例では、図13から図17に示したリードワイヤ104a、104b、404a、404b、504a、及び504bの電極のモジュール体への埋め込みが不要となる。そのため成形工程が簡素化される。更に、アクチュエータ106の交換が可能となりリサイクルが可能となる。

【0127】図20(B)は、アクチュエータ106を容器1に装着したときの実施例としてインク容器の断面図を示す。図20(B)の実施例によるインクカートリッジでは、保護部材361はアクチュエータ106とは別体として容器1に取り付けられている。従って、保護部材361とアクチュエータ106とはモジュールとして一体となっていないが、一方で、保護部材361はアクチュエータ106にユーザーの手が触れないように保護することができる。アクチュエータ106の前面に設けられる孔380は、容器1の側壁に配設されている。アクチュエータ106は、圧電層160、上部電極164、下部電極166、振動板176及び取付プレート350を含む。取付プレート350の上面に振動板176が形成され、振動板176の上面に下部電極166が形成されている。下部電極166の上面には圧電層160が形成され、圧電層160の上面に上部電極164が形成されている。したがって、圧電層160の主要部は、上部電極164の主要部及び下部電極166の主要部によって上下から挟まれるように形成されている。圧電層160、上部電極164、及び下部電極166のそれぞれの主要部である円形部分は、圧電素子を形成する。圧電素子は振動板176上に形成される。圧電素子及び振動板176の振動領域はアクチュエータが実際に振動する振動部である。取付プレート350には貫通孔370が設けられている。更に、容器1の側壁には孔380が形成されている。したがって、インクは、容器1の孔380及び取付プレート350の貫通孔370を介して振動板176と接触する。容器1の孔380及び取付プレート350の貫通孔370は、共にインク溜部を形成する。また、図20(B)の実施例では、アクチュエータ106は保護部材361により保護されているのでアクチュエータ10

6を外部との接触から保護できる。

【0128】尚、図20(A)および(B)の実施例における取付プレート350に代えて、図1の基板178を使用してもよい。

【0129】図20(C)はアクチュエータ106を含むモールド構造体600を備える実施形態を示す。本実施例では、取付構造体の1つとしてモールド構造体600を使用する。モールド構造体600はアクチュエータ106とモールド部364とを有する。アクチュエータ106とモールド部364とは一体に成形されている。モールド部364はシリコン樹脂等の可塑性の材料によって成形される。モールド部364は内部にリードワイヤ362を有する。モールド部364はアクチュエータ106から延びる2本の足を有するように形成されている。モールド部364はモールド部364と容器1とを液密に固定するために、モールド部364の2本の足の端が半球状に形成される。モールド部364はアクチュエータ106が容器1の内部に突出するよう容器1に装着され、アクチュエータ106の振動部は容器1内のインクと接触する。モールド部364によって、アクチュエータ106の上部電極164、圧電層160、及び下部電極166はインクから保護されている。

【0130】図20(C)のモールド構造体600は、モールド部364と容器1との間にシーリング構造372が必要ないので、インクが容器1から漏れにくい。また、容器1の外部からモールド構造体600が突出しない形態であるので、アクチュエータ106を外部との接触から保護することができる。インクカートリッジが揺れる際に、インクが容器1の上面あるいは側面に付き、容器1の上面あるいは側面から垂れてきたインクが、アクチュエータ106に接触することで、アクチュエータ106が、誤作動する可能性がある。モールド構造体600は、モールド部364が、容器1の内部に突出しているので、容器1の上面や側面から垂れてきたインクにより、アクチュエータ106が誤作動しない。

【0131】図21は、図1に示したアクチュエータ106を用いたインクカートリッジ及びインクジェット記録装置の実施形態を示す。複数のインクカートリッジ180は、それぞれのインクカートリッジ180に対応した複数のインク導入部182及びホルダー184を有するインクジェット記録装置に装着される。複数のインクカートリッジ180は、それぞれ異なった種類、例えば色のインクを収容する。複数のインクカートリッジ180のそれぞれの底面には、少なくとも音響インピーダンスを検出する手段であるアクチュエータ106が装着されている。アクチュエータ106をインクカートリッジ180に装着することによって、インクカートリッジ180内のインク残量を検出することができる。

【0132】図22は、インクジェット記録装置のヘッド部周辺の詳細を示す。インクジェット記録装置は、インク導入部182、ホルダー184、ヘッドプレート186、及びノズルプレート188を有する。インクを噴射するノズル190がノズルプレート188に複数形成されている。インク導入部182は空気供給口181とインク導入口183とを有する。空気供給口181はインクカートリッジ180に空気を供給する。インク導入口183はインクカートリッジ180からインクを導入する。インクカートリッジ180は空気導入口185とインク供給口187とを有する。空気導入口185はインク導入部182の空気供給口181から空気を導入する。インク供給口187はインク導入部182のインク導入口183にインクを供給する。インクカートリッジ180がインク導入部182から空気を導入することによって、インクカートリッジ180からインク導入部182へのインクの供給を促す。ホルダー184は、インクカートリッジ180からインク導入部182を介して供給されたインクをヘッドプレート186に連通する。

【0133】図23は、図20に示したインクカートリッジ180の他の実施形態を示す。図23(A)のインクカートリッジ180Aは、上下方向に斜めに形成された底面194aにアクチュエータ106が装着されている。インクカートリッジ180のインク容器194の内部には、インク容器194の内部底面から所定の高さの、アクチュエータ106と直面する位置に防波壁192が設けられている。アクチュエータ106が、インク容器194の上下方向に対し斜めに装着されているので、インクの掃けが良好になる。

【0134】アクチュエータ106と防波壁192との間には、インクで満たされた間隙が形成される。また、防波壁192とアクチュエータ106との間隔は、毛細管力によりインクが保持されない程度に空けられている。インク容器194が横揺れしたときに、横揺れによってインク容器194内部にインクの波が発生し、その衝撃によって、気体や気泡がアクチュエータ106によって検出されてアクチュエータ106が誤作動する可能性がある。防波壁192を設けることによって、アクチュエータ106付近のインクの波を防ぎ、アクチュエータ106の誤作動を防ぐことができる。

【0135】図23(B)のインクカートリッジ180Bのアクチュエータ106は、インク容器194の供給口の側壁上に装着されている。インク供給口187の近傍であれば、アクチュエータ106は、インク容器194の側壁又は底面に装着されてもよい。また、アクチュエータ106はインク容器194の幅方向の中心に装着されることが好ましい。インクは、インク供給口187を通過して外部に供給される

ので、アクチュエータ106をインク供給口187の近傍に設けることにより、インクニアエンド時点までインクとアクチュエータ106とが確実に接触する。したがって、アクチュエータ106はインクニアエンドの時点を確認に検出することができる。

【0136】更に、アクチュエータ106をインク供給口187の近傍に設けることで、インク容器をキャリッジ上のカートリッジホルダに装着する際に、インク容器上のアクチュエータ106とキャリッジ上の接点との位置決めが確実となる。その理由は、インク容器とキャリッジとの連結において最も重要なのは、インク供給口と供給針との確実な結合である。少しでもずれがあると供給針の先端を痛めてしまったりあるいはOリングなどのシーリング構造にダメージを与えてしまいインクが漏れ出してしまいうからである。このような問題点を防ぐために、通常インクジェットプリンタはインク容器をキャリッジにマウントする時に正確な位置合わせができるような特別な構造を有している。よって供給口近傍にアクチュエータを配置させることにより、アクチュエータの位置合わせも同時に確実なものとなるのである。さらに、アクチュエータ106をインク容器194の幅方向の中心に装着することで、より確実に位置合わせすることができる。インク容器が、ホルダへの装着時に幅方向中心線を中心として軸揺動した場合に、もっともその揺れが少ないからである。

【0137】図24はインクカートリッジ180の更に他の実施形態を示す。図24(A)はインクカートリッジ180Cの断面図、図24(B)は図24(A)に示したインクカートリッジ180Cの側壁194bを拡大した断面図、及び図24(C)はその正面からの透視図である。インクカートリッジ180Cは、半導体記憶手段7とアクチュエータ106とが同一の回路基板610上に形成されている。図24(B)、(C)に示すように、半導体記憶手段7は回路基板610の上方に形成され、アクチュエータ106は同一の回路基板610において半導体記憶手段7の下方に形成されている。アクチュエータ106の周囲を囲むように異型Oリング614が、側壁194bに装着される。側壁194bには、回路基板610をインク容器194に接合するためのカシメ部616が複数形成されている。カシメ部616によって回路基板610をインク容器194に接合し、異型Oリング614を回路基板610に押しつけることで、アクチュエータ106の振動領域がインクと接触することをできるようにしつつ、インクカートリッジの外部と内部とを液密に保つ。

【0138】半導体記憶手段7及び半導体記憶手段7付近には端子612が形成されている。端子612は半導体記憶手段7とインクジェット記憶装置等の外部との間の信号の受け渡しをする。半導体記憶手段7は、例えばEEPROMなどの書き換え可能な半導体メモリによって構成されてもよい。半導体記憶手段7とアクチュエータ106とが同一の回路基板610上に形成されているので、アクチュエータ106及び半導体記憶手段7をインクカートリッジ180Cに取付ける際に1回の取付け工程で済む。また、インクカートリッジ180Cの製造時及びリサイクル時の作業工程が簡素化される。更に、部品の点数が削減されるので、インクカートリッジ180Cの製造コストが低減できる。

【0139】アクチュエータ106は、インク容器194内のインクの消費状態を検知する。半導体記憶手段7はアクチュエータ106が検出したインク残量などインクの情報を格納する。すなわち、半導体記憶手段7は検出する際に用いられるインク及びインクカートリッジの特性等の特性パラメータに関する情報を格納する。半導体記憶手段7は、予めインク容器194内のインクがフルのとき、すなわちインクがインク容器194内に満たされたとき、又はエンドのとき、すなわちインク容器194内のインクが消費されたときの共振周波数を特性パラメータの一つとして格納する。インク容器194内のインクがフル又はエンド状態の共振周波数は、インク容器が初めてインクジェット記録装置に装着されたときに格納されてもよい。また、インク容器194内のインクがフル又はエンド状態の共振周波数は、インク容器194の製造中に格納されてもよい。半導体記憶手段7に予めインク容器194内のインクがフル又はエンドのときの共振周波数を格納し、インクジェット記録装置側で共振周波数のデータを読み出すことによりインク残量を検出する際のばらつきを補正できるので、インク残量が基準値まで減少したことを正確に検出することができる。

【0140】図25は、インクカートリッジ180の更に他の実施形態を示す。図25(A)に示すインクカートリッジ180Dは、インク容器194の側壁194bに複数のアクチュエータ106を装着する。図25に示した、一体成形された複数のアクチュエータ106を、これら複数のアクチュエータ106として用いることが好ましい。複数のアクチュエータ106は、上下方向に間隔をおいて側壁194bに配置されている。複数のアクチュエータ106を上下方向に間隔をおいて側壁194bに配置することによって、インク残量を段階的に検出することができる。

【0141】図25(B)に示すインクカートリッジ180Eは、インク容器194の側壁194bに上下方向に長いアクチュエータ606を装着する。上下方向に長いアクチュエータ606によって、インク容器194内のインク残量の変化を連続的に検出することができる。アクチュエータ606の長さは、側壁194bに高さの半分以上の長さを有することが望ましく、図25(B)においては、アクチュエータ60



6は側壁194bのほぼ上端からほぼ下端までの長さを有する。

【0142】図25(C)に示すインクカートリッジ180Fは、図25(A)に示したインクカートリッジ180Dと同様に、インク容器194の側壁194bに複数のアクチュエータ106を装着し、複数のアクチュエータ106の直面に所定の間隔をおいて上下方向に長い防波壁192を備える。図5に示した、一体成形された複数のアクチュエータ106を、これら複数のアクチュエータ106として用いることが好ましい。アクチュエータ106と防波壁192との間には、インクで満たされた間隙が形成される。また、防波壁192とアクチュエータ106との間隔は、毛細管力によりインクが保持されない程度に空けられている。インク容器194が横揺れしたときに横揺れによってインク容器194内部にインクの波が発生し、その衝撃によって気体や気泡がアクチュエータ106によって検出されてしまい、アクチュエータ106が誤作動する可能性がある。本発明のように防波壁192を設けることによって、アクチュエータ106付近のインクの波立ちを防ぎ、アクチュエータ106の誤作動を防ぐことができる。また、防波壁192はインクが揺動することで発生した気泡がアクチュエータ106に侵入するのを防ぐ。

【0143】図26は、インクカートリッジ180の更に他の実施形態を示す。図26(A)のインクカートリッジ180Gは、インク容器194の上面194cから下方に延びる複数の隔壁212を有する。それぞれの隔壁212の下端とインク容器194の底面とは所定の間隔が空けられているので、インク容器194の底部は連通している。インクカートリッジ180Gは複数の隔壁212のそれぞれによって区画された複数の収容室213を有する。複数の収容室213の底部は互いに連通する。複数の収容室213のそれぞれにおいて、インク容器194の上面194cにはアクチュエータ106が装着されている。図5に示した、一体成形されたアクチュエータ106を、これら複数のアクチュエータ106として用いることが好ましい。アクチュエータ106は、インク容器194の収容室213の上面194cのほぼ中央に配置される。収容室213の容量はインク供給口187側が最も大きく、インク供給口187からインク容器194の奥へ遠ざかるにつれて、収容室213の容量が徐々に小さくなっている。したがって、アクチュエータ106が配置される間隔はインク供給口187側が広く、インク供給口187からインク容器194の奥へと遠ざかるにつれ、狭くなっている。

【0144】インクは、インク供給口187から排出され、空気が空気導入口185から入るので、インク供給口187側の収容室213からインクカートリッジ180Gの奥の方の収容室213へとインクが消費される。例えば、インク供給口187に最も近い収容室213のインクが消費されて、インク供給口187に最も近い収容室213のインクの水位が下がっている間、他の収容室213にはインクが満たされている。インク供給口187に最も近い収容室213のインクが消費され尽くすと、空気が、インク供給口187から数えて2番目の収容室213に侵入し、2番目の収容室213内のインクが消費され始めて、2番目の収容室213のインクの水位が下がり始める。この時点で、インク供給口187から数えて3番目以降の収容室213には、インクが満たされている。このように、インク供給口187に近い収容室213から遠い収容室213へと順番にインクが消費される。

【0145】このように、アクチュエータ106がそれぞれの収容室213ごとにインク容器194の上面194cに間隔をおいて配置されているので、アクチュエータ106はインク量の減少を段階的に検出することができる。更に、収容室213の容量が、インク供給口187から収容室213の奥へと徐々に小さくなっているので、アクチュエータ106が、インク量の減少を検出する時間間隔が徐々に小さくなり、インクエンドに近づくほど頻度を高く検出することができる。

【0146】図26(B)のインクカートリッジ180Hは、インク容器194の上面194cから下方に延びる一つの隔壁212を有する。隔壁212の下端とインク容器194の底面とは所定の間隔が空けられているので、インク容器194の底部は連通している。インクカートリッジ180Hは隔壁212によって区画された2室の収容室213a及び213bを有する。収容室213a及び213bの底部は互いに連通する。インク供給口187側の収容室213aの容量はインク供給口187から見て奥の方の収容室213bの容量より大きい。収容室213bの容量は、収容室213aの容量の半分より小さいことが好ましい。

【0147】収容室213bの上面194cにアクチュエータ106が装着される。更に、収容室213bには、インクカートリッジ180Hの製造時に入る気泡を捕らえる溝であるバッファ214が形成される。図26(B)において、バッファ214は、インク容器194の側壁194bから上方に延びる溝として形成される。バッファ214はインク収容室213b内に侵入した気泡を捕らえるので、気泡によってアクチュエータ106がインクエンドと検出する誤作動を防止することができる。また、アクチュエータ106を収容室213bの上面194cに設けることにより、インクニアエンドが検出されてから完全にインクエンド状態になるまでのインク量に対して、ドットカウンタによって把握した収容室213aでのインクの消費状態に対応した補正をかけることで、最後までインクを消費することができる。更に、収

容室213bの容量を隔壁212の長さや間隔を変えたりすることなどによって調節することにより、インクニアエンド検出後の消費可能インク量を変えることができる。

【0148】図26(C)は、図26(B)のインクカートリッジ180Iの収容室213bに多孔質部材216が充填されている。多孔質部材216は、収容室213b内の上面から下面までの全空間を埋めるように設置される。多孔質部材216は、アクチュエータ106と接触する。インク容器が倒れたときや、キャリッジ上での往復運動中に空気がインク収容室213b内に侵入してしまい、これがアクチュエータ106の誤作動を引き起こす可能性がある。しかし、多孔質部材216が備えられていれば、空気を捕らえてアクチュエータ106に空気が入るのを防ぐことができる。また、多孔質部材216はインクを保持するのでインク容器が揺れることにより、インクがアクチュエータ106にかかってアクチュエータ106がインク無しをインク有りと誤検出するのを防ぐことができる。多孔質部材216は最も容量が小さい収容室213に設置することが好ましい。また、アクチュエータ106を収容室213bの上面194cに設けることにより、インクニアエンドが検出されてから完全にインクエンド状態になるまでのインク量に補正をかけ、最後までインクを消費することができる。更に、収容室213bの容量を隔壁212の長さや間隔を変えたりすることなどによって調節することにより、インクニアエンド検出後の消費可能インク量を変えることができる。

【0149】図26(D)は、図26(C)のインクカートリッジ180Iの多孔質部材216が孔径の異なる2種類の多孔質部材216A及び216Bによって構成されているインクカートリッジ180Jを示す。多孔質部材216Aは、多孔質部材216Bの上方に配置されている。上側の多孔質部材216Aの孔径は、下側の多孔質部材216Bの孔径より大きい。もしくは、多孔質部材216Aは、多孔質部材216Bよりも液体親和性が低い部材で形成される。孔径の小さい多孔質部材216Bの方が孔径の大きい多孔質部材216Aより毛細管力は大きいので、収容室213b内のインクが下側の多孔質部材216Bに集まり、保持される。したがって、一度空気がアクチュエータ106まで到達してインク無しを検出すると、インクが再度アクチュエータに到達してインク有りと検出することが無い。更に、アクチュエータ106から遠い側の多孔質部材216Bにインクが吸収されることで、アクチュエータ106近傍のインクの捌けが良くなり、インク有無を検出するときの音響インピーダンス変化の変化量が大きくなる。また、アクチュエータ106を収容室213bの上面194cに設けることにより、インクニアエンドが検出されてから完全にインクエンド状態になるまでのインク量に補正をかけ、最後までインクを消費することができる。更に、収容室213bの容量を隔壁212の長さや間隔を変えたりすることなどによって調節することにより、インクニアエンド検出後の消費可能インク量を変えることができる。

【0150】図27は、図26(C)に示したインクカートリッジ180Iの他の実施形態であるインクカートリッジ180Kを示す断面図である。図27に示すインクカートリッジ180の多孔質部材216は、多孔質部材216の下部の水平方向の断面積が、インク容器194の底面の方向にむけて徐々に小さくなるように圧縮され、孔径が小さくなるよう設計されている。図27(A)のインクカートリッジ180Kは、多孔質部材216の下の方の孔径が小さくなるように圧縮するために側壁にリブが設けられている。多孔質部材216下部の孔径は圧縮されることにより、小さくなっているため、インクは多孔質部材216下部へと集められ、保持される。アクチュエータ106から遠い側の多孔質部材216下部にインクが吸収されることで、アクチュエータ106近傍のインクの捌けが良くなり、インク有無を検出するときの音響インピーダンス変化の変化量が大きくなる。したがって、インクが揺れることによってインクカートリッジ180K上面に装着されたアクチュエータ106にインクがかかってしまい、アクチュエータ106が、インク無しをインク有りと誤検出することを防止することができる。

【0151】一方、図27(B)及び図27(C)のインクカートリッジ180Lは、多孔質部材216の下部の水平方向の断面積が、インク容器194の幅方向において、インク容器194の底面にむけて徐々に小さくなるよう圧縮するために、収容室の水平方向の断面積がインク容器194の底面の方向にむけて徐々に小さくなっている。多孔質部材216下部の孔径は圧縮されることにより、小さくなっているため、インクは多孔質部材216の下部へと集められ、保持される。アクチュエータ106から遠い側の多孔質部材216Bの下部にインクが吸収されることで、アクチュエータ106近傍のインクの捌けが良くなり、インク有無を検出するときの音響インピーダンス変化の変化量が大きくなる。したがって、インクが揺れることによって、インクカートリッジ180Lの上面に装着されたアクチュエータ106にインクがかかってしまい、アクチュエータ106が、インク無しをインク有りと誤検出することを防止することができる。

【0152】図28は、アクチュエータ106を用いたインクカートリッジの更に他の実施形態を示す。図28(A)のインクカートリッジ220Aは、インクカートリッジ220Aの上面から下方へと延びるように設けられた第1の隔壁222を有する。第1の隔壁222の下端とインクカートリッジ220Aの底面と



の間には所定の間隔が空けられているので、インクは、インクカートリッジ220Aの底面を通じてインク供給口230へ流入できる。第1の隔壁222よりインク供給口230側には、インクカートリッジ220Aの底面より上方に延びるように第2の隔壁224が、形成されている。第2の隔壁224の上端とインクカートリッジ220A上面との間には所定の間隔が空けられているので、インクは、インクカートリッジ220Aの上面を通じてインク供給口230へ流入できる。

【0153】第1の隔壁222によって、インク供給口230から見て、第1の隔壁222の奥の方に第1の収容室225aが形成される。一方、第2の隔壁224によって、インク供給口230から見て第2の隔壁224の手前側に第2の収容室225bが形成される。第1の収容室225aの容量は、第2の収容室225bの容量より大きい。第1の隔壁222及び第2の隔壁224の間に、毛管現象を起こせるだけの間隔が空けられることにより、毛管路227が形成される。したがって、第1の収容室225aのインクは、毛管路227の毛細管力により、毛管路227に集められる。そのため、気体や気泡が第2の収容室225bへ混入するのを防止することができる。また、第2の収容室225b内のインクの水位は、安定的に徐々に下降できる。インク供給口230から見て、第1の収容室225aは、第2の収容室225bより奥に形成されているので、第1の収容室225aのインクが消費された後、第2の収容室225bのインクが消費される。

【0154】インクカートリッジ220Aのインク供給口230側の側壁、すなわち第2の収容室225bのインク供給口230側の側壁には、アクチュエータ106が装着されている。アクチュエータ106は、第2の収容室225b内のインクの消費状態を検知する。アクチュエータ106を、第2の収容室225bの側壁に装着することによって、インクエンドにより近い時点でのインク残量を安定的に検出することができる。更に、アクチュエータ106を第2の収容室225bの側壁に装着する高さを変えることにより、どの時点でのインク残量をインクエンドにするかを、自由に設定することができる。毛管路227によって第1の収容室225aから第2の収容室225bへインクが供給されることにより、アクチュエータ106は、インクカートリッジ220Aの横揺れによるインクの横揺れの影響を受けないので、アクチュエータ106は、インク残量を確実に測定できる。更に、毛管路227が、インクを保持するので、インクが第2の収容室225bから第1の収容室225aへ逆流するのを防ぐ。

【0155】インクカートリッジ220Aの上面には、逆止弁228が設けられている。逆止弁228によって、インクカートリッジ220Aが横揺れしたときに、インクがインクカートリッジ220A外部に漏れるのを防ぐことができる。更に、逆止弁228をインクカートリッジ220Aの上面に設置することで、インクのインクカートリッジ220Aからの蒸発を防ぐことができる。インクカートリッジ220A内のインクが消費されて、インクカートリッジ220A内の負圧が逆止弁228の圧力を越えると、逆止弁228が開いて、インクカートリッジ220Aに空気を吸入し、その後閉じてインクカートリッジ220A内の圧力を一定に保持する。

【0156】図28(C)及び(D)は、逆止弁228の詳細の断面を示す。図28(C)の逆止弁228は、ゴムにより形成された羽根232aを有する弁232を有する。インクカートリッジ220の外部との通気孔233が、羽根232aに対向してインクカートリッジ220に設けられる。羽根232aによって、通気孔233が、開閉される。逆止弁228は、インクカートリッジ220内のインクが減少し、インクカートリッジ220内の負圧が逆止弁228の圧力を越えると、羽根232aが、インクカートリッジ220の内側に開き、外部の空気をインクカートリッジ220内に取り入れる。図28(D)の逆止弁228は、ゴムにより形成された弁232とバネ235とを有する。逆止弁228は、インクカートリッジ220内の負圧が逆止弁228の圧力を越えると、弁232が、バネ235を押圧して開き、外部の空気をインクカートリッジ220内に吸入し、その後閉じてインクカートリッジ220内の負圧を一定に保持する。

【0157】図28(B)のインクカートリッジ220Bは、図28(A)のインクカートリッジ220Aにおいて逆止弁228を設ける代わりに第1の収容室225aに多孔質部材242を配置している。多孔質部材242は、インクカートリッジ220B内のインクを保持すると共に、インクカートリッジ220Bが横揺れしたときに、インクがインクカートリッジ220Bの外部へ漏れるのを防ぐ。

【0158】以上、キャリッジに装着される、キャリッジと別体のインクカートリッジにおいて、インクカートリッジ又はキャリッジにアクチュエータ106を装着する場合について述べたが、キャリッジと一体化され、キャリッジと共に、インクジェット記録装置に装着されるインクタンクにアクチュエータ106を装着してもよい。更に、キャリッジと別体の、チューブ等を介して、キャリッジにインクを供給するオフキャリッジ方式のインクタンクにアクチュエータ106を装着してもよい。またさらに、記録ヘッドとインク容器とが一体となって交換可能に構成されたインクカートリッジに、本発明のアクチュエータを装着してもよい。

【0159】以上、本発明を実施の形態を用いて説明したが、本発明の技術的範囲は上記実施の形態に記載の範囲には限定されない。上記実施の形態に、多様な変更又は改良を加えることがで

きる。その様な変更又は改良を加えた形態も本発明の技術的範囲に含まれ得ることが、特許請求の範囲の記載から明らかである。

【0160】

【発明の効果】本発明の圧電装置、モジュール体、液体容器、及びインクカートリッジは、液体の残量を正確に検出でき、かつ複雑なシール構造が不要である。更に、本発明の圧電装置、モジュール体、液体容器、及びインクカートリッジは、安価に製造でき、液体容器への実装性もよい。

## 図の説明

【図面の簡単な説明】

【図1】アクチュエータ106の詳細を示す図である。

【図2】アクチュエータ106の周辺およびその等価回路を示す図である。

【図3】インクの密度とアクチュエータ106によって検出されるインクの共振周波数との関係を示す図である。

【図4】アクチュエータ106の逆起電力波形を示す図である。

【図5】アクチュエータ106の他の実施形態を示す図である。

【図6】図5に示したアクチュエータ106の一部分の断面を示す図である。

【図7】図6に示したアクチュエータ106の全体の断面を示す図である。

【図8】図5に示したアクチュエータ106の製造方法を示す図である。

【図9】本発明のインクカートリッジの更に他の実施形態を示す図である。

【図10】貫通孔1cの他の実施形態を示す図である。

【図11】アクチュエータ660の他の実施形態を示す図である。

【図12】アクチュエータ670の更に他の実施形態を示す図である。

【図13】モジュール体100を示す斜視図である。

【図14】図13に示したモジュール体100の構成を示す分解図である。

【図15】モジュール体100の他の実施形態を示す図である。

【図16】図15に示したモジュール体100の構成を示す分解図である。

【図17】モジュール体100の更に他の実施形態を示す図である。

【図18】図13に示したモジュール体100をインク容器1に装着した断面の例を示す図である。

【図19】モジュール体100の更に他の実施形態を示す図である。

【図20】モジュール体100の更に他の実施形態を示す図である。

【図21】図1および図2に示したアクチュエータ106を用いたインクカートリッジ及びインクジェット記録装置の実施形態を示す図である。

【図22】インクジェット記録装置の詳細を示す図である。

【図23】図22に示したインクカートリッジ180の他の実施形態を示す図である。

【図24】インクカートリッジ180の更に他の実施形態を示す図である。

【図25】インクカートリッジ180の更に他の実施形態を示す図である。

【図26】インクカートリッジ180の更に他の実施形態を示す図である。

【図27】図26(C)に示したインクカートリッジ180の他の実施形態を示す図である。

【図28】モジュール体100を用いたインクカートリッジの更に他の実施形態を示す図である。

【符号の説明】

1・・・容器

1a・・・底面

1b・・・側壁

1c、940a・・・貫通孔

1d・・・側面

1e、1f・・・段差部

1g、1h・・・溝

2・・・インク供給口

67・・・板材

68・・・フロート

71・・・接着剤層

78、80、178・・・基板

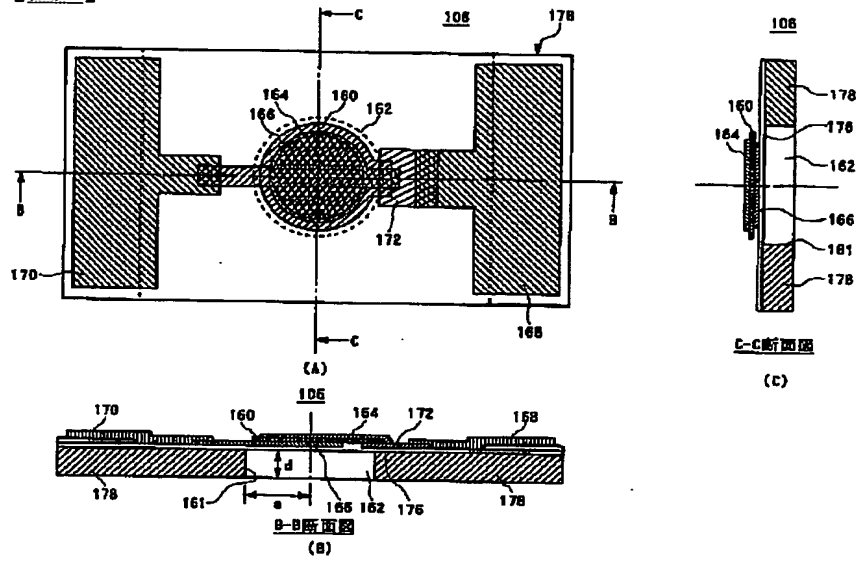
73、82、圧電振動板

74、75...インク吸収体  
76...パッキン  
77...カシメ孔  
81...凹部  
100、400、500、700...モジュール体  
101、401、501...液体容器取付部  
102...基台  
104、362...リードワイヤ  
105、405、505...圧電装置装着部  
106、650、660、670...アクチュエータ  
108...フィルム  
110...プレート  
112、412、370...貫通孔  
113...凹部  
114...開口部  
116...円柱部  
160...圧電層  
162...キャビティ  
164...上部電極  
166...下部電極  
168...上部電極端子  
170...下部電極端子  
172...補助電極  
174...圧電素子  
176...振動板  
180...インクカートリッジ  
181...空気供給口  
182...インク導入部  
183...インク導入口  
184...ホルダー  
185...空気導入口  
186...ヘッドプレート  
187...インク供給口  
188...ノズルプレート  
190...ノズル  
192...防波壁  
194...インク容器  
194a...底面  
194b...側壁  
194c...上面  
212...隔壁  
213、213a、213b...収容室  
214...バッファ  
216、216a、216b...多孔質部材  
220...インクカートリッジ  
222...第1の隔壁  
224...第2の隔壁  
225a...第1の収容室  
225b...第2の収容室  
227...毛管路  
228...逆止弁  
230...インク供給口  
232...弁  
232a...羽根

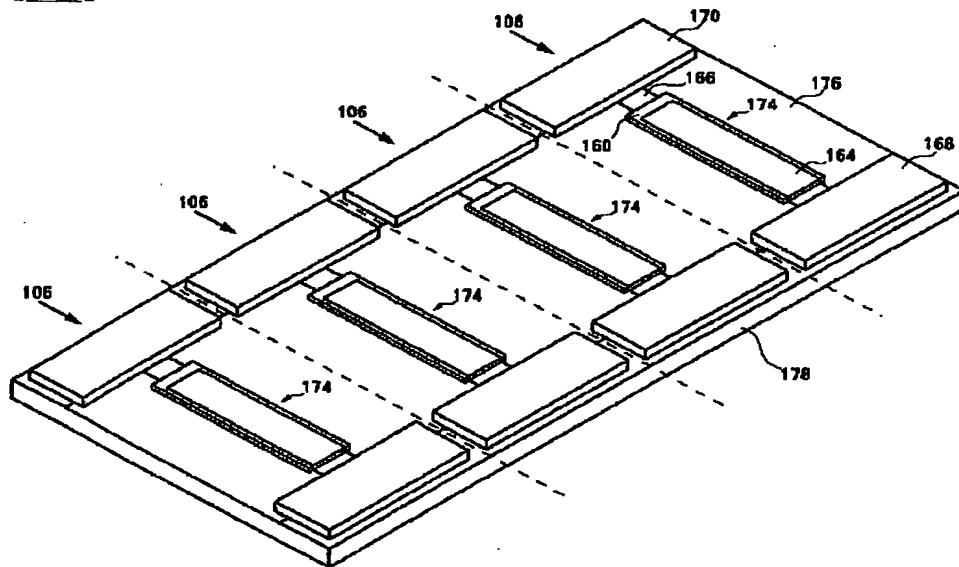
233...通気孔  
235...バネ  
242...多孔質部材  
250...キャリッジ  
252...記録ヘッド  
254...インク供給針  
256...サブタンクユニット  
258、258'...凸部  
260、260'...弾性波発生手段  
262...インク室  
266...膜弁  
270...弁体  
272...インクカートリッジ  
274...容器  
274a...底面  
274b...側面  
276...インク供給口  
278...凹部  
280、280'...ゲル化材  
282...パッキン  
284...バネ  
286...弁体  
288...半導体記憶手段  
290...容器  
290a...底面  
292、294、296...インク室  
298、300、302...インク供給口  
304、306、308...ゲル化材  
310、312、314...凹部  
316...板材  
318...フロート  
350...取付プレート  
360...液体容器取付部  
364...モールド部  
372...シーリング構造  
402、502...基台  
403、503...円柱部  
404、504...リードワイヤ  
408、508...フィルム  
410、510...プレート  
413、513...凹部  
414、514...開口部  
600...モールド構造体  
606...アクチュエータ  
610...回路基板  
612...端子  
940、941...グリーンシート  
942、944...導電層  
944'...接続部  
947、948...スペーサ部材  
 $\Delta h1$ 、 $\Delta h2$ ...液面の変化  
K...インク

図面

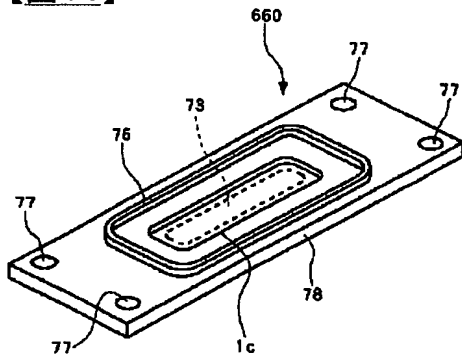
【図1】



【図5】

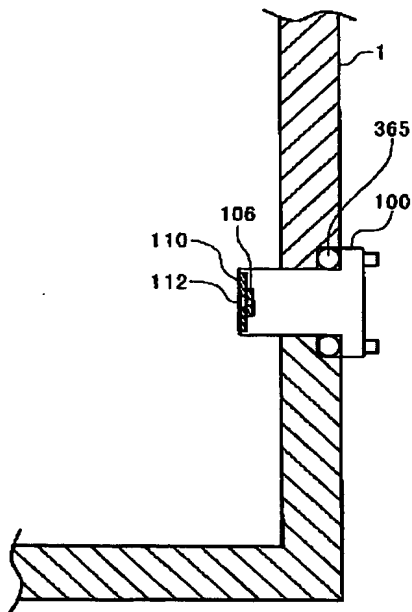


【図11】

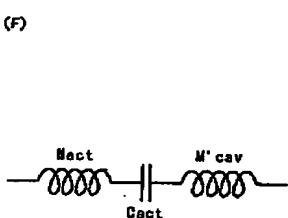
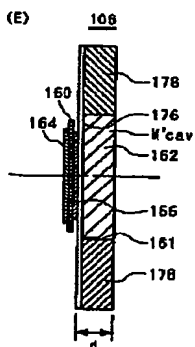
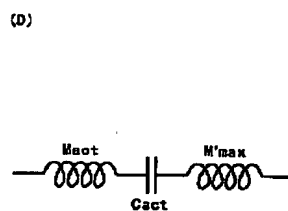
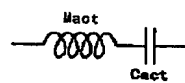
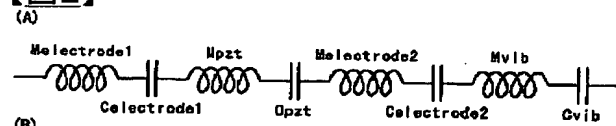


【図18】

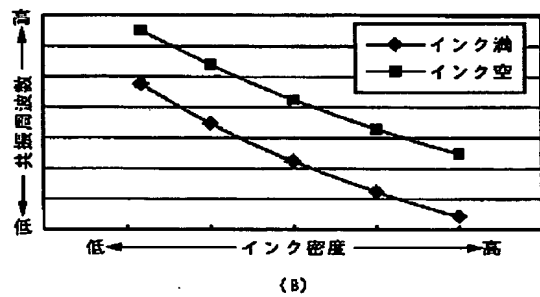
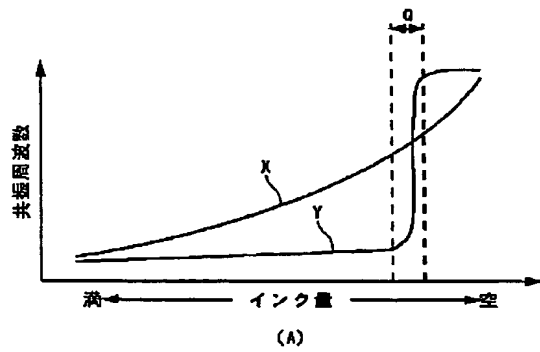




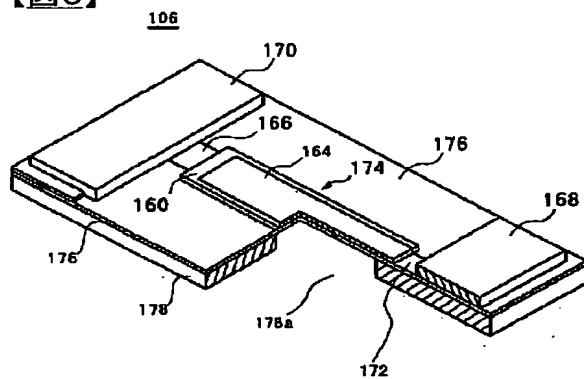
【図2】



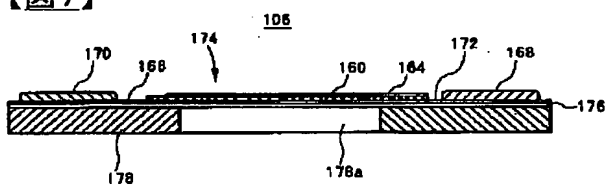
【図3】



【図6】

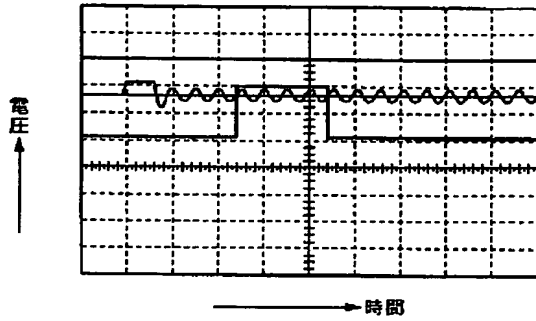


【図7】

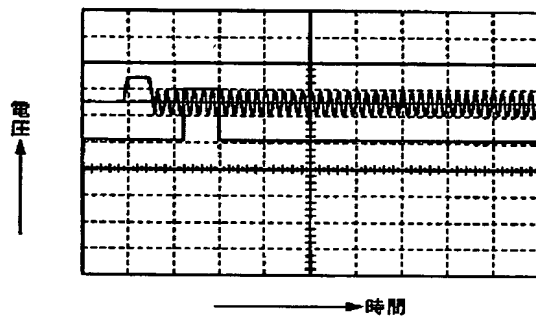


【図4】

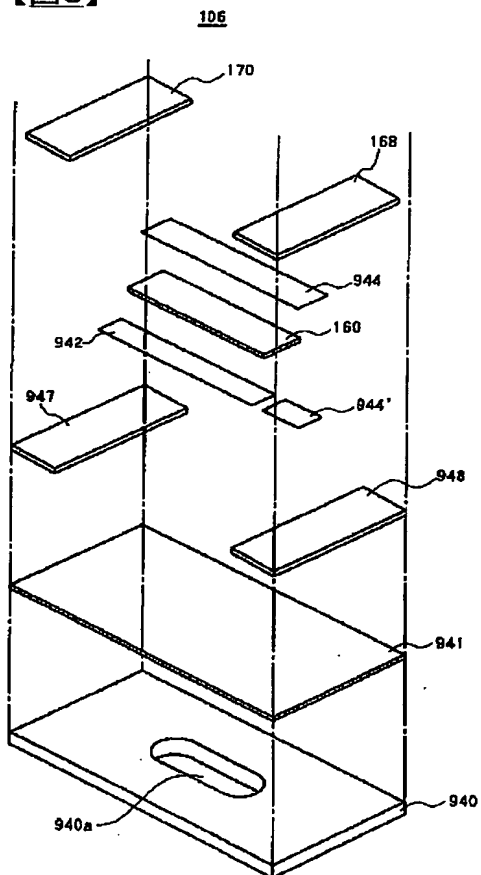
(A)



(B)

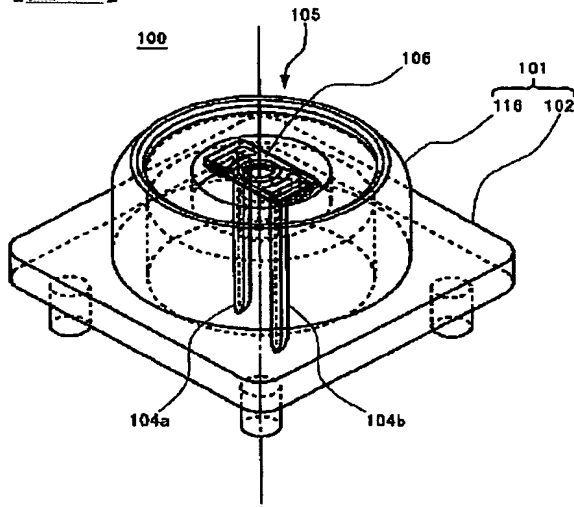


【図8】

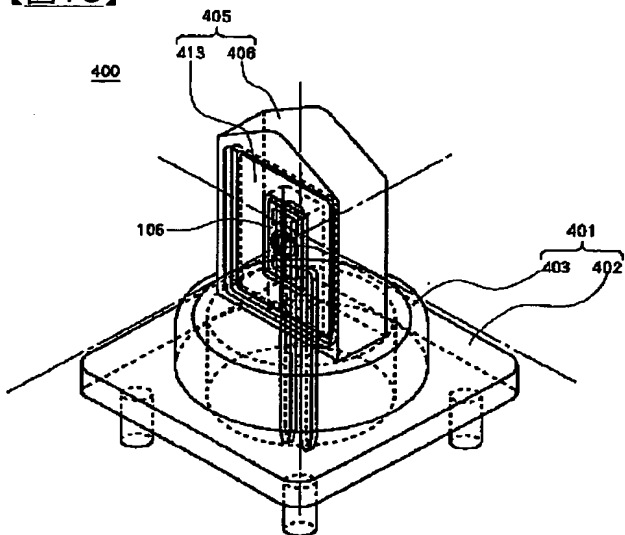




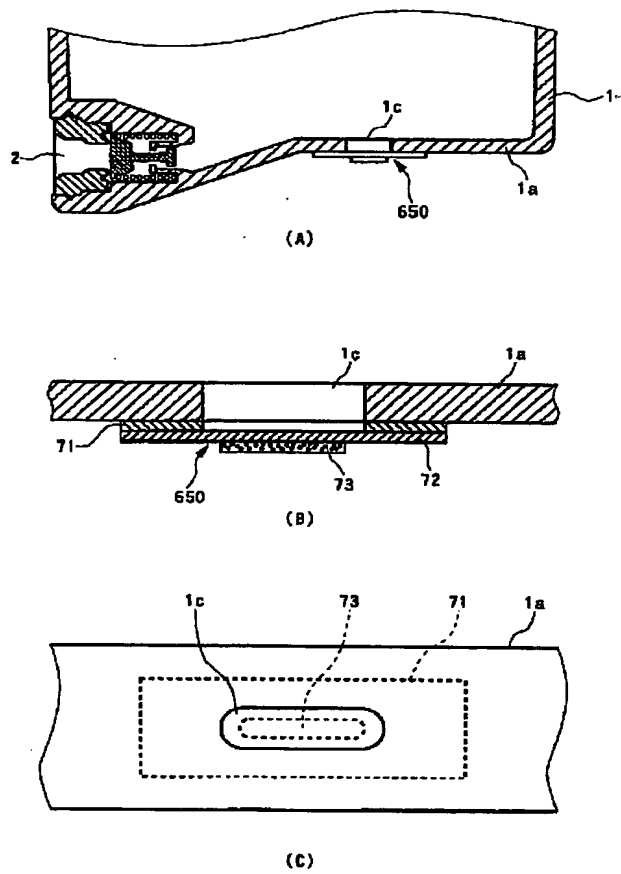
【図13】



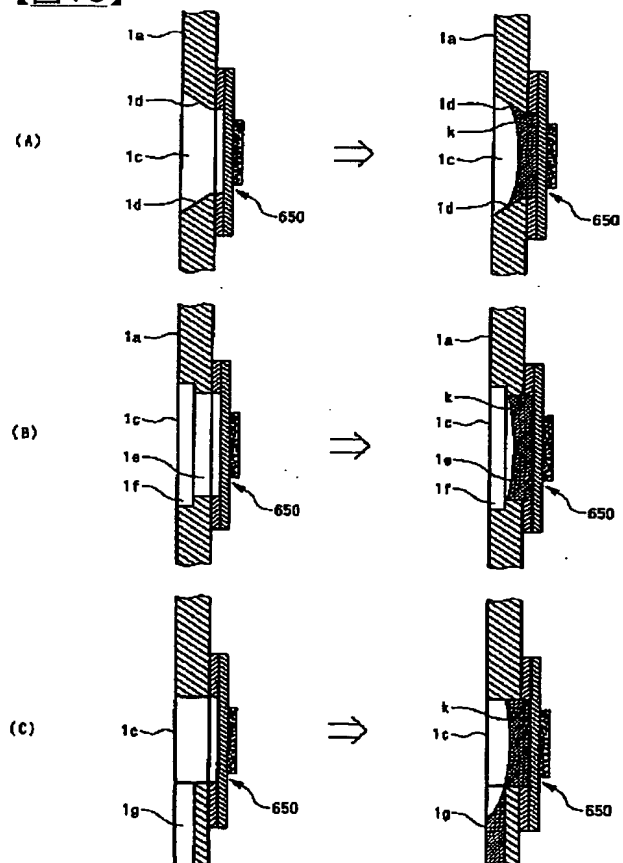
【図15】



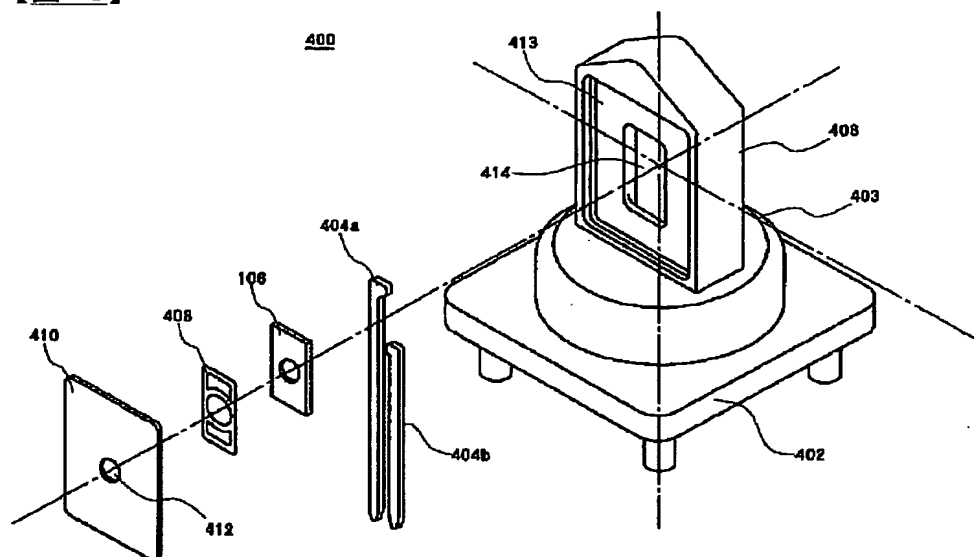
【図9】



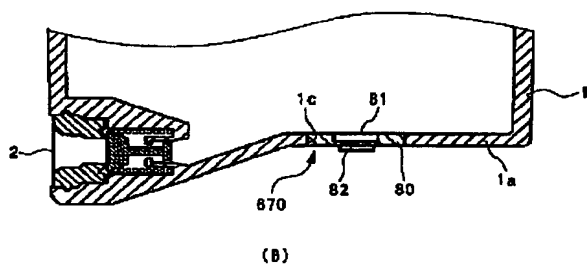
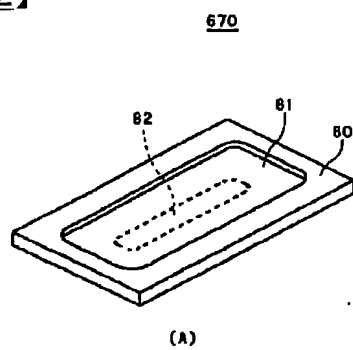
【図10】



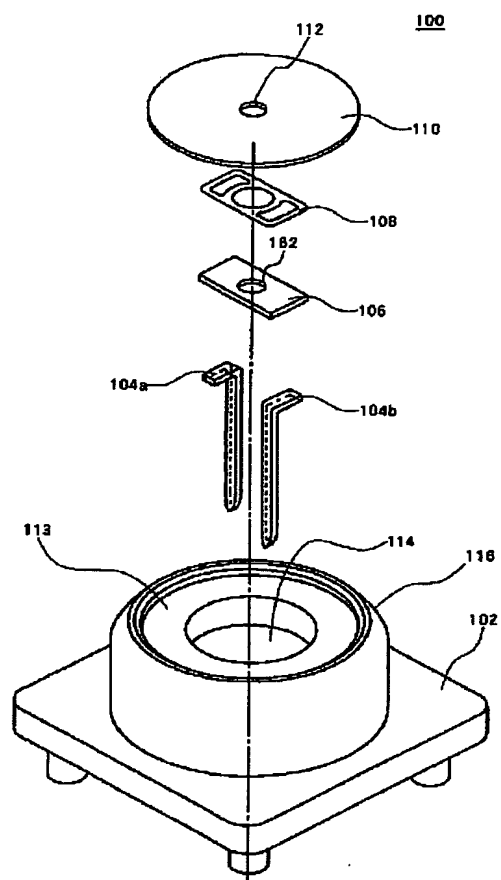
【図16】



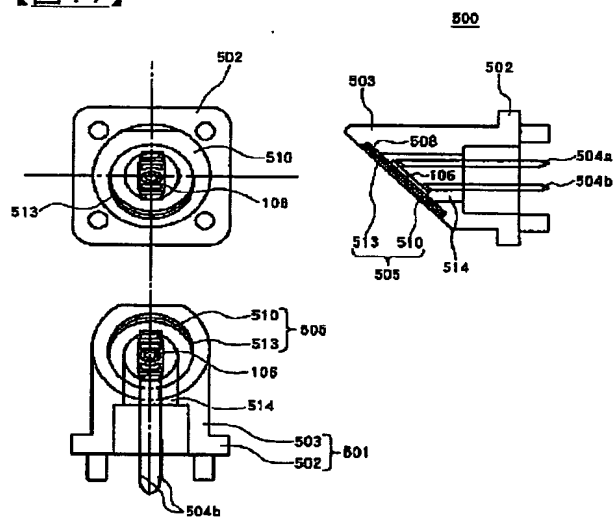
【図12】



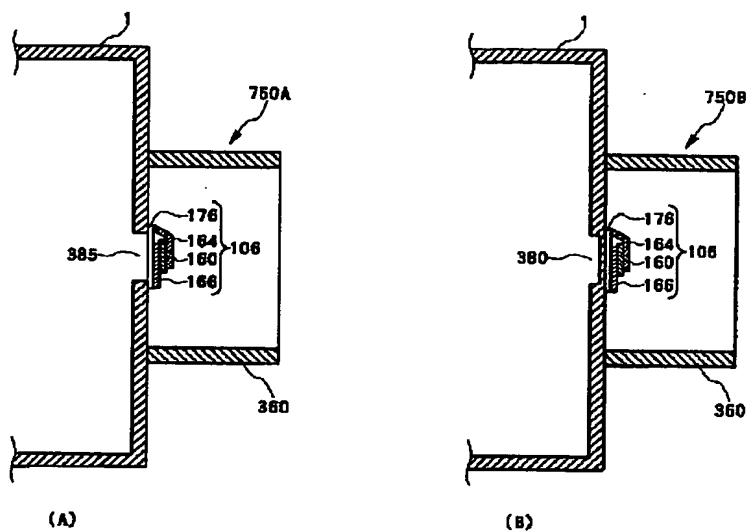
【図14】



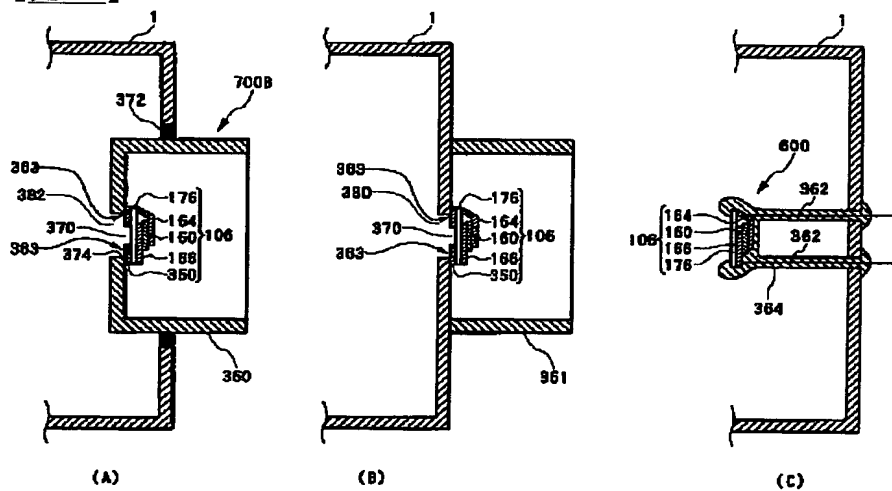
【図17】



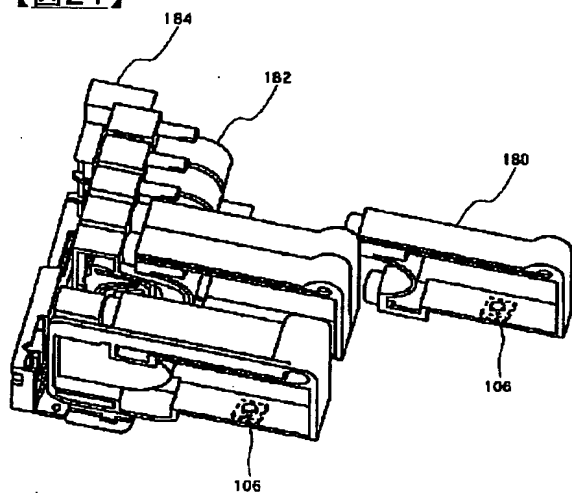
【図19】



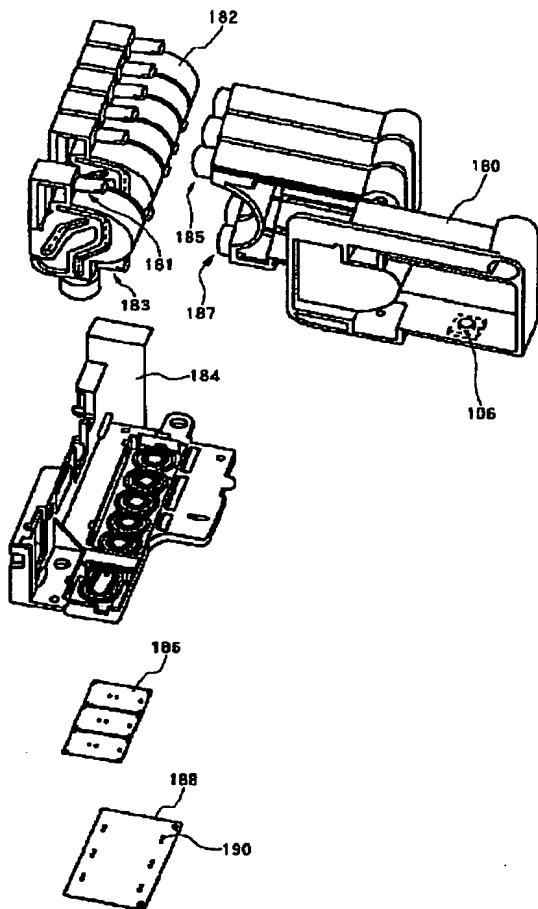
【図20】



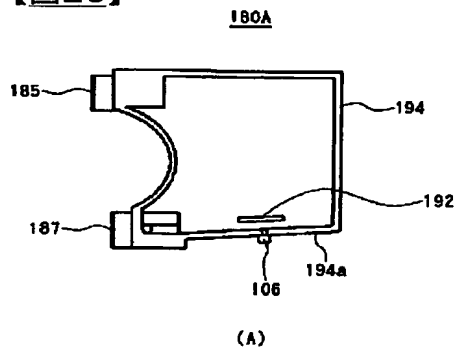
【図21】



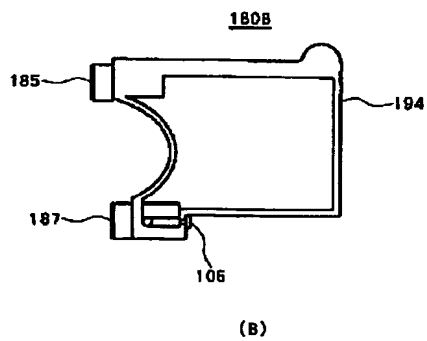
【図22】



【図23】

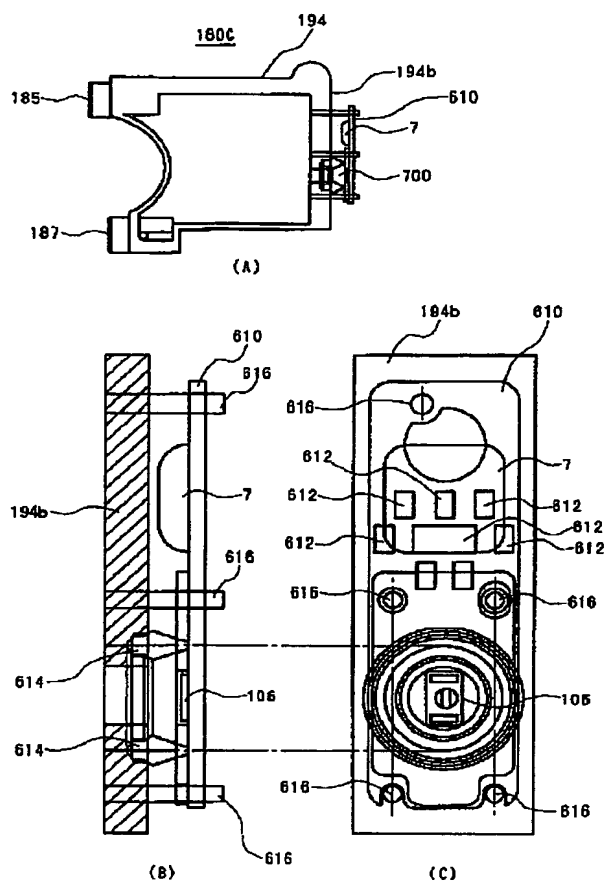


(A)

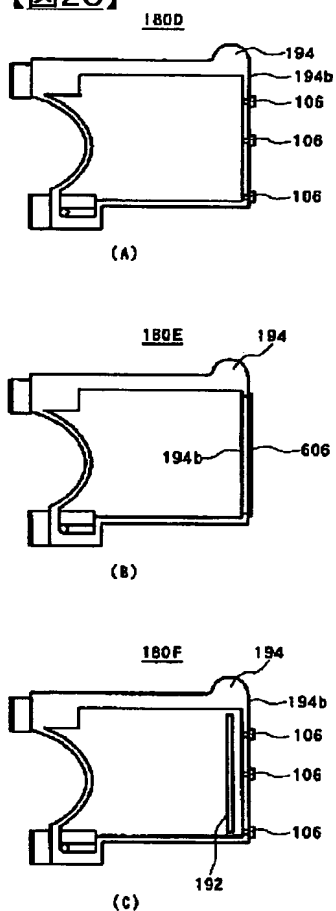


(B)

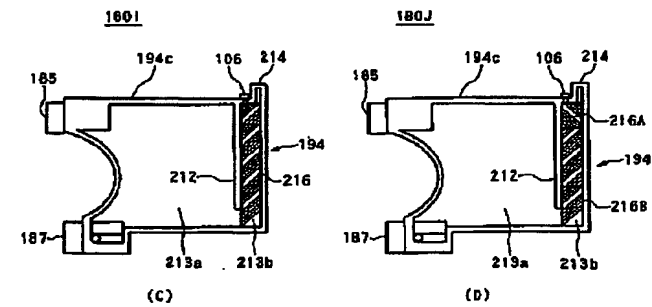
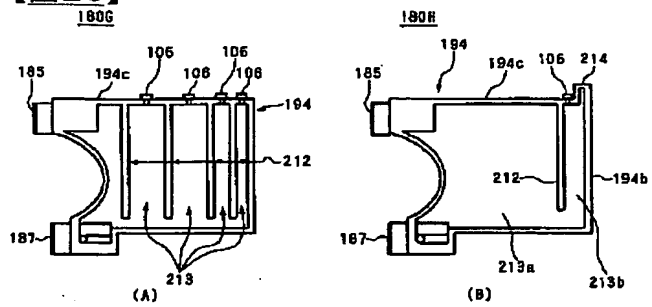
【図24】



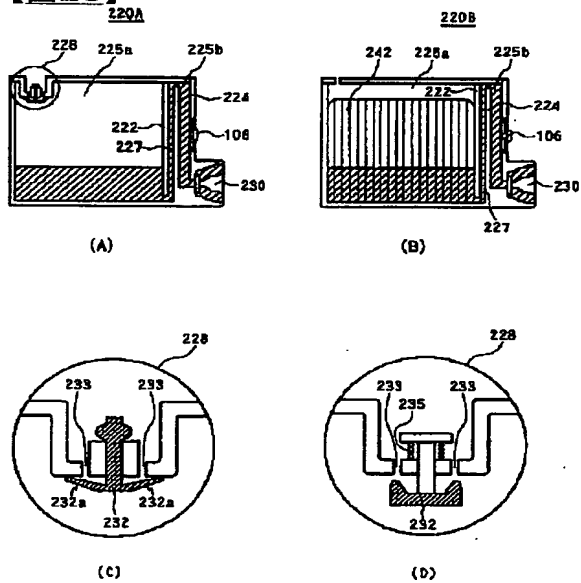
【図25】



【図26】



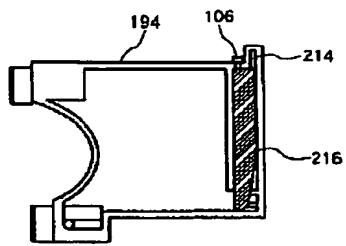
【図28】



【図27】

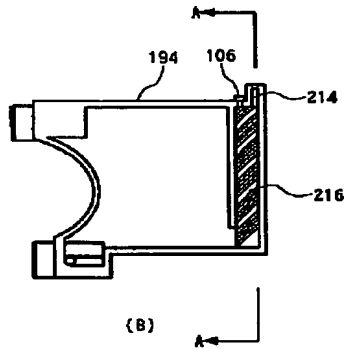


180K

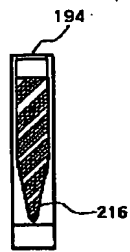


(A)

180L



(B)



A-A

(C)

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**